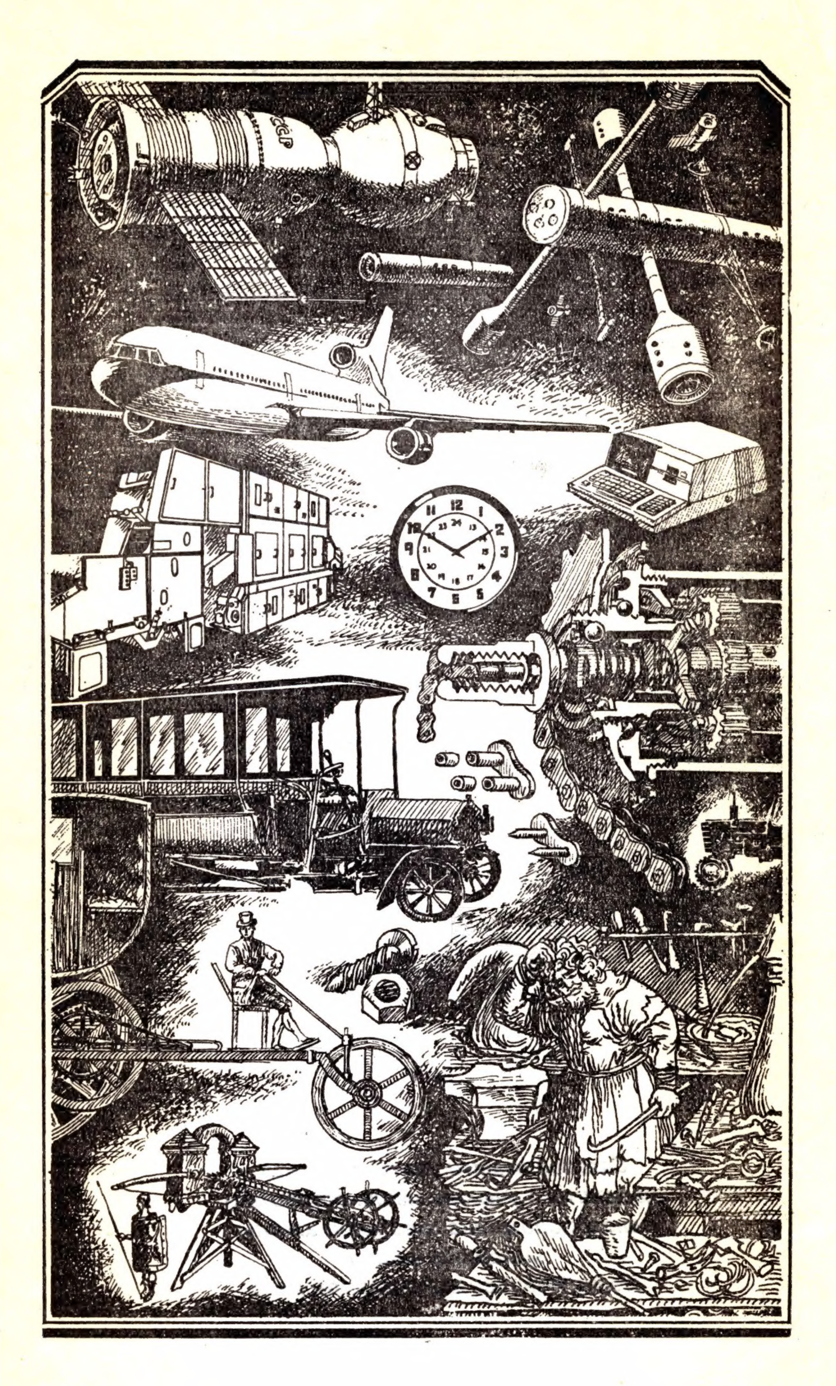

НАУКА
И ПРОГРЕСС
А.Н. Боголюбов
ТВОРЕНИЯ
РУК
ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ
Естественная
история
машин

Светлой памяти учителя и друга
знаменитого ученого-машиностроителя
основоположника советской школы
механики машин
Ивана Ивановича Артоболевского





Издательство "Знание" Москва 1988

ББК 34.4
Б73

Автор: Алексей Николаевич БОГОЛЮБОВ — член-корреспондент АН УССР, доктор технических наук, главный научный сотрудник Института математики АН УССР, автор нескольких монографий и биографического справочника, посвященных истории техники.

Рецензент: А. А. Пархоменко — старший научный сотрудник Института истории естествознания и техники АН СССР, ученый секретарь Совета по проблемам истории техники и НТР.

Боголюбов А. Н.

Б 73 Творения рук человеческих: Естественная история машин.— М.: Знание, 1988.— 176 с., ил.

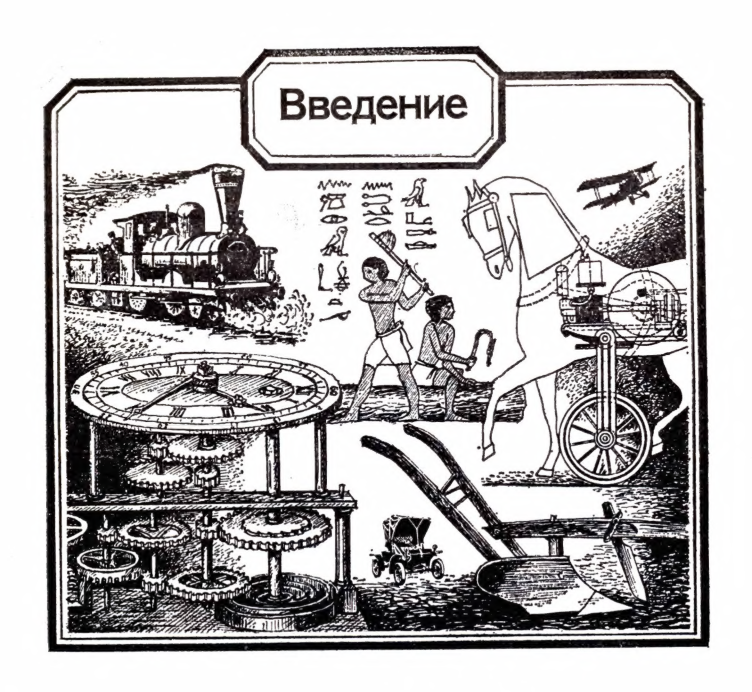
45 к. 150 000 экз.

История создания машин началась очень давно, и за две с половиной тысячи лет своего существования они прошли путь от элементарной водяной мельницы до машины автономного действия — робота, наделенного некоторыми способностями, присущими только человеку. Пользуясь биологической терминологией, можно сказать, что машины в процессе своего исторического развития непрерывно эволюционировали, и так как они созданы человеком и в определенном смысле моделируют движения его органов, то поиск общего между машинами и биологическими объектами оказывается совершенно правомерным, особенно при популярном изложении теории машин и механизмов.

Б $\frac{2701000000-019}{073(02)-88}$ 26—88 **ББК 34.4**

ISBN 5-07-000028-4

Введение



Мы живем в окружении машин и так привыкли к ним, что не можем представить себе, как обойтись без этих многочисленных помощников, облегчающих наш труд, нашу жизнь. Далеко не всегда мы отдаем себе отчет о том, сколько самых разнообразных машин существует рядом с нами. Только немногие из них находятся перед нашими глазами, а сколько есть машин, о существовании которых мы и не предполагаем.

Что известно нам о машинах, с помощью которых были вытканы ткани, выпечен хлеб, упакованы консервы, напечатаны книги и журналы! А эти машины непосредственно связаны с другими — теми, благодаря которым они сами появились на свет. Каждый год, каждый день инженеры-конструкторы работают над созданием новых машин, совершенствуют и реконструируют старые. Иногда мы узнаем об этом, читая газеты и журналы или же слушая радио- и телепередачи. «Царство» машин растет, и нам иногда становится не по себе, когда мы обнаруживаем, что тихие и спокойные доселе улицы оказываются буквально запруженными бесконечным потоком автомашин.

Со времени своего появления машины облегчали труд человека и заменяли силу домашних животных. Уже на нашей памяти человек начал обучать машины сложнейшим логическим операциям, но старшее поколение еще помнит такие города и такие села, где машина была редкостью. Возьмем, например, жизнь украинского села в 20-х годах нашего века. В то время жители села пользовались лишь ветряной мельницей, плугом, сеялкой и веялкой, ткацким станком, гончарным кругом. Изредка летом в село привозили молотилку и локомобиль, и все мальчишки (среди которых был и автор книги) мчались смотреть на «машину». Учитель природоведения или физики приводил своих учеников на выгон, где была установлена «машина», и объяснял принцип работы локомобиля. Все это было очень интересно.

Паровоз с вагонами можно было увидеть на ближайшей железнодорожной станции; в уездном городе работали паровая машина и маслобойка. Изредка по дороге тарахтел автомобиль. О тракторах в селе тогда и не слыхали.

Наиболее известным механизмом были часы, висевшие в школе. У двоих хозяев побогаче имелись настенные часы с гирями и раскрашенным циферблатом. Время по тем и другим было можно узнавать лишь приблизительно, поскольку шли они по-разному. Кроме того, у врача были карманные часы, на них можно было смотреть, как они отсчитывают время, но открыть их, чтобы посмотреть, как они работают, никто и не отважился бы: часы могли остановиться. Что тогда с ними делать? Ведь часовщика в селе не было!

Вспомним, как же родились те машины и те механизмы, о которых только что шла речь. В жизни мы встречаемся с растениями и животными, небом и звездами, песком и камнями, наконец, с искусственными сооружениями, созданными гением человека. Живую природу изучают биологические науки, неживую — науки о земле. Какое же место занимает среди них наука или, скорее, науки о машинах?

Если бегло взглянуть на историю создания машин, то можно обнаружить, что их задачи с течением времени менялись. Первые машины служили для замены физической силы человека. Естественно, они менялись,

совершенствовались, создавались заново, но на протяжении приблизительно двух тысяч лет машины другой более важной задачи и не имели.

Но вот в начале XVIII в. появляются машины, которые заменяют не только физическую силу человека, но и его мастерство, его умение. Это не означало, что они вытеснили первую группу машин: простейшие механизмы продолжали совершенствоваться, причем под влиянием и с помощью машин второго типа все убыстряющимися темпами, но машины нового типа стали ведущими в развитии производства.

Так было приблизительно до второй трети XX в., когда появились машины, выполняющие некоторые логические операции, ранее доступные только человеку. И опять-таки на фоне их развития машины первого и второго типов получают как бы новый импульс: они изменяются по размерам и качественно, как бы стараясь «приноровиться» к машинам нового поколения. Появляются и такие машины, которые объединяют в себе физическую мощь, высокое умение и способность к выбору наилучшего пути решения тех или иных практических задач.

И сразу же возникает вопрос: что обеспечило столь быстрое развитие машиностроения? Ведь привычные объекты неживой природы в течение довольно длительного времени остаются неизменными или медленно изменяются под влиянием внешних сил естественного происхождения (а иногда и под влиянием деятельности человека). Растительные и животные организмы эволюционируют на протяжении весьма длительного времени, и лишь иногда человеку удается изменить их природу. Наоборот, машины развиваются чрезвычайно быстро. Сам человек развивался, вероятно, не менее двух миллионов лет, а вся история машин укладывается только в два с половиною тысячелетия.

Если углубиться в историю создания машин, то можно обнаружить еще одно обстоятельство, немаловажное для ее понимания. По словам Фридриха Энгельса, именно развитие руки как прообраза всех орудий труда стало важнейшим событием в процессе становления человека. По-видимому, многократно и у разных народов возникала мысль о том, что для не-

которых операций, будь то строительство, будь то охота или военные действия, силы человека недостаточно. Поэтому люди начинают использовать силу домашних животных или же силу ветра и воды. Характерный пример — изобретение мельницы, побудительной причиной которого послужило то, что измельчение зерна с помощью терок было чрезвычайно трудоемким процессом. В качестве второго примера можно привести изобретение лука и пращи, тех новых орудий труда или простейших машин, которые увеличили возможности человека, бросающего дротик или камень.

Эти два примера показывают, что механическая сущность орудий и машин как бы имеет еще и биологический характер: орудия труда являются усовершенствованными органами движения человека. Подобное «сродство» между машинами и живыми организмами, особенно с человеком, было заметно или, точнее, почувствовано давно, почти одновременно с изобретением машин.

Утверждают, что письменному тексту «Илиады» Гомера две с половиной тысячи лет, т. е. ровно столько, сколько, вероятно, и машинам. Так вот в тексте поэмы есть упоминание о том, как бог кузнечного дела Гефест пытался сгладить свою хромоту с помощью механических приспособлений.

Мечта о возможности воссоздания человеческого тела повторяется и после Гомера. Так, в десятой книге «Метаморфоз» Овидий пересказывает старинную легенду о скульпторе Пигмалионе, который изваял статую прекрасной девушки и влюбился в нее: по его просьбе богиня любви Афродита вдохнула в нее жизнь.

Известно, что друг знаменитого философа Платона философ-пифагореец и военачальник Архит Тарентский сделал ряд открытий в естествознании и механике. Ему, например, приписывается устройство механического голубя, который мог летать. Все это соответствовало тому понятию о машине, которое было свойственно мыслителям античного времени, а затем и средневековья. Предполагалось, что машина составлена из частей (деревянных), которые обладают свойством движения. Так, средневековые алхимики мечтали о создании гомункулюса — «человечка», кото-

рый мог достигать и огромных размеров, подобно средневековому пражскому Голему.

Определенные черты сходства между организмами и машинами видел и великий математик Рене Декарт. В первой половине XVII в. он высказал дерзкую для своего времени мысль о том, что животные — это машины. По его мнению, автоматы или машины можно создать с помощью костей, мускулов, нервов, артерий, вен и всех других частей, которые находятся в теле каждого животного. Были сделаны и попытки применить законы механики к пояснению некоторых жизненных явлений. Современник Декарта выдающийся английский врач и физиолог Уильям Гарвей пытался определить течение крови по сосудам в соответствии с законами механики того времени. Он сравнивал сердце с гидравлической машиной.

Научное направление, которое возникло в XVI—XVII вв. на стыке физиологии и механики, получило название ятромеханики. Так, врач и математик Джованни Борелли, будучи профессором Мессинского университета, написал трактат «О движении животных» (изданный посмертно в последней четверти XVII в). В нем он описал строение, форму, действие и силу мышц человека и животных и изложил учение о их движениях. По его мнению, физиологические явления можно объяснить с помощью механических аналогий. Идеи ятромеханики не остались в стороне от развития науки, и можно проследить три основных направления, имеющих своим источником ятромеханические рассуждения.

Первое из них было представлено некоторыми работами русских академиков Леонарда Эйлера и Даниила Бернулли, применивших законы механики и методы математики к исследованию некоторых физиологических явлений. В сущности, от этих работ, выполненных в середине XVIII в., ведет свое начало биомеханика, которая, в частности, занимается механикой человеческого тела и которая внесла заметный вклад в создание роботов и манипуляторов.

Второе направление нашло свое отражение в философии. Виднейшим его представителем был французский врач и философ Жюльен Офре де Ламетри. Также в середине XVIII в. он издал в Лейдене трактат

«Человек-машина», за который ему едва не пришлось поплатиться жизнью. По утверждению Ламетри, человеческое тело похоже на часовой механизм огромных размеров, устроенный так, что «если остановится колесо, при помощи которого в нем отмечаются секунды, то колесо, обозначающее минуты, будет продолжать вращаться и идти как ни в чем не бывало». Поэтому и засорения нескольких сосудов недостаточно для того, чтобы прекратилось биение сердца, которое является рабочей частью человеческой машины. Конечно, никто теперь не сомневается, что знаменитый философ во многом ошибался. Но зато он был одним из первых, кто пытался понять характер физической природы живых существ.

Жак де Вокансон, французский механик, член Королевской академии наук, был виднейшим представителем третьего направления в поиске соответствий между машинами и живыми существами. Это направление можно было бы назвать экспериментальным: если автоматы механиков XVII в. и не воссоздавали движений живых существ, то во всяком случае они их моделировали.

Нельзя отрицать того, что ятромеханики и их последователи XVIII в. предложили и рациональную идею. Если ни животные, ни человек все же не были машинами, то при построении машин имелись в виду какие-либо их функции. Более того, можно утверждать, что каждая из машин выполняет какие-либо функции живых существ. Непрерывное совершенствование группы машин, созданных в период научно-технической революции, свидетельствует о том, что и само развитие машин в определенной степени моделирует развитие живых существ. А следовательно, и некоторые биологические законы могут оказать помощь в понимании истории создания машин, а также в искусстве построения их новых конструкций.

Еще Леонардо да Винчи считал, что машины и механизмы — это в некотором роде «продолжение» органов человека. Теперь мы видим, что создаются и такие органы, которые отсутствуют у человека, но свойственны некоторым живым существам. Поэтому вполне оправданным может быть описание машины, ее структуры и принципов работы в терминах биологии.

Интересно, что развитие концепции Декарта — «животное-машина» в виде концепции «человек-машина» — продолжалось и в XVIII в. Но в том же веке, а затем в середине XIX в. неоднократно высказывалась несколько противоположная точка зрения: сама машина включалась в органический мир, и ей как бы приписывали действия, свойственные живому организму.

Этот последний взгляд на машину как на объект, в определенной степени имеющий качества живой природы, непрерывно обогащается: все больше и больше говорят о машинах автономного действия, и не только с точки зрения исполняемой ими работы. О машинах нового поколения говорят как о саморазвивающихся объектах, которые затем, возможно, смогут воспроизводить себе подобных.

Поэтому в настоящей работе мы попробуем показать машины как искусственные органы человека, иначе говоря, применить к их исследованию некоторые биологические концепции. Нам бы хотелось раскрыть хотя бы в общих чертах процесс их развития и выявить некоторые аспекты, сближающие искусственные произведения человеческого гения с объектами, созданными на протяжении многих миллионов лет гением природы.



1

ЭВОЛЮЦИЯ МАШИН
Краткая история

Если бы мы могли воспользоваться машиной времени и двинуться назад в прошедшие годы, столетия, тысячелетия.., то вначале (еще в нашем веке) исчезнут самолеты, потом автомобили и паровозы, исчезнет электрическое освещение, пропадут паровые, а затем и ветряные мельницы, исчезнут плуг, веялка и сеялка, останется только деревянная соха. Еще некоторое время сохранится ткацкий станок, гончарный круг и ручная мельница. Затем их не станет и мы окажемся среди первобытных людей, которых от создателей первых машин будут отделять многие и многие поколения.

По мнению большинства археологов и палеонтологов, человекоподобные (гоминиды) впервые появились в Восточной Африке более десяти миллионов лет назад. Около четырех миллионов лет назад на арену жизни вышли гоминиды — австралопитеки. Еще через полтора миллиона лет эти существа пришли к использованию обломков камней, костей животных и рыб в качестве простейших орудий труда. Гоминиды этой эпохи были довольно развитыми прямоходящими существами, и по биологическим признакам резких от-

личий между ними и современными людьми не обнаружено.

Каменные орудия, которые изготовлял древний человек, прошли чрезвычайно длительную эволюцию. Эпоха первоначального овладения камнем и навыками его примитивной обработки носит название палеолита. Основные занятия — охота и собирание плодов — определили типы орудия: нож, топор, скребок, игла, наконечники копья и стрелы — все это модификации клина. Палка как орудие и как рычаг также относится к древнейшим приобретениям человека. Поддержание и использование огня, рожденного стихийными силами природы, начались около четырехсот тысяч лет назад (освоение огня и изобретение средств для его добывания произошли значительно позже).

Около ста тысячелетий назад возникает изобразительное искусство, очевидно, как один из способов запоминания и ориентирования на местности. В большей мере это относится к изображениям людей и животных, в меньшей — к орнаменту, который несомненно связан с разложением понятия «много» и с появлением числа и счета. Первобытное искусство — доказательство того, что человек начал рассуждать. В борьбе за свое существование человек приобретает знания и умения, объем которых медленно, но непрерывно увеличивается.

Техника изготовления орудий совершенствуется, убыстряется освоение новых умений. Изобретается лук, т. е. орудие для метания стрел, для изготовления которого человек оценивает относительную гибкость и упругость дерева. Для охоты на зверей изобретаются и ловушки, иногда уже довольно сложной конструкции, которые срабатывают, когда зверь наступает на одно из звеньев. Позже осуществляется переход к производству продуктов питания — выращиванию злаков и иных растений, одомашниванию животных. В истории человечества это была вторая важнейшая хозяйственная революция после освоения огня. Человек получил более обильный и надежный источник пищи и начал переходить к оседлому образу жизни. Следствием был рост народонаселения. Этот период, длившийся около пяти тысяч лет и закончившийся к VI—VII вв. до н. э., был назван неолитом.

Естественно, что никаких резких границ между периодами древнего, среднего и нового каменных веков — палеолитом, мезолитом и неолитом — не было. Каменный век заканчивался у разных племен в разное время (некоторые из них живут в каменном веке вплоть до настоящего времени). Постепенно люди расселялись и осваивали новые земли. Разные условия труда и жизни определили и различия в орудиях труда: человеку, уходившему на север, надо было уделять больше внимания сооружению жилищ и изготовлению одежды, чем его экваториальному современнику.

Период неолита характеризуется все более сложной обработкой камня, осваивается шлифовка. Орудия труда умножаются качественно и количественно. Для хранения пищи изготавливаются глиняные горшки. Кости и раковины служат для изготовления рыболовных крючков, гарпунов. Из шкур вырабатываются кожи, из растительных волокон — нити. Появляются и первые ручные мельницы — два отшлифованных камня, с помощью которых растираются зерна. Осваивается вращательное движение: изобретается колесо, гончарный круг, круговая ручная мельница. Все это — путь к изобретению простейших машин.

Основные занятия племен — земледелие или скотоводство, охота и рыболовство — доступны любому из его членов. Все умеют растирать зерно, готовить пищу, шить одежду. Но рядом со всеми уже появляется кузнец, гончар, ткач. Начинается обмен изделиями, т. е. изделия становятся товаром. Первобытное общество теряет свое имущественное равенство. Пленных, захваченных в борьбе за новые территории, не убивают, а заставляют выполнять тяжелую работу, в первую очередь для старейшин племени. Возникновение частной собственности связано, таким образом, с общественным разделением труда: первобытное общество порождает рабовладельческое.

Затем появляются государства-города, государства-империи. В больших государствах возможно сложное разделение труда, выше профессиональное мастерство ремесленников, запас орудий и технических средств растет быстрее. Наконец, появляются и машины.

Машина заменяет живую силу. Пожалуй, первой

машиной в современном понимании следует назвать водяную мельницу, т. е. не что иное, как преобразователь энергии водяного потока в энергию вращения. Это простейшее устройство состоит из основного колеса, двух цевочных колес и рабочего органа — двух жерновов, неподвижного и подвижного. Первые мельницы появились на горных речках и быстро распространились повсюду, где можно было создать перепад воды. Это изобретение было революционным событием: на машину был переложен тяжелый труд. Можно только представить себе, сколько людей должны были работать вручную, чтобы накормить население даже небольшого города.

Изобретение мельниц было встречено с восторгом: о мельницах слагались песни, поэты посвящали им оды — так машина входила в жизнь человека. Не лишен интереса и тот факт, что одновременно с изобретением мельниц появились и зачатки научных знаний.

Другими областями человеческой деятельности, в результате которой возникли машины, были строительство и водоснабжение. Появляются устройства для подъема и перемещения тяжестей, принцип работы которых сохранился и в современных грузоподъемных механизмах.

Совершенствование лука и пращи привело к изобретению военных машин. Были созданы два основных типа таких машин — катапульты, которые метали стрелы, и баллисты, метавшие камни. Движителем была упругая сила канатов, свитых из воловьих жил или из волос. Военные машины — первые приспособления, размеры которых рассчитывались. Расчетным модулем служила величина отверстия, через которое пропускался канат. Были малые машины, метавшие камни по два фунта весом, но строились и машины внушительных размеров, которые метали камни по двести—триста фунтов. При закручивании каната перед броском камня обе его ветви настраивались по слуху на один тон. В противоположность непрерывно действующим мельницам военные, а также грузоподъемные и водоподъемные механизмы действовали как бы дискретно.

Трудно установить время изобретения тех или иных машин, возможно, что они изобретались неоднократно,

в результате эволюционного развития простейших механических приспособлений. Их можно было бы назвать приспособлениями динамическими, так как они создавались для экономии человеческой силы. Но почти одновременно с такими машинами появляются и иные приспособления, которые можно было бы назвать кинематическими, потому что они служили для преобразования не силы, а движения. Их можно назвать автоматами, происхождение которых весьма древнее и, несомненно, генетически связанное с теми звериными ловушками, о которых уже шла речь.

Сочинение об автоматах написал ученый эпохи позднего эллинизма Герон Александрийский, но можно предполагать, что описанные им автоматы были изобретены намного раньше. Движение фигур и их элементов осуществлялось в автоматах по прямой линии, по кругу, по произвольной кривой. Каждое движение производилось при помощи нитей, навернутых на барабаны или блоки различного диаметра и натягиваемых грузиками. В некоторых местах нити имели ненатянутые участки (петли) для того, чтобы одно движение запаздывало относительно другого. Со временем система привода у автоматов усложняется: у них уже есть что-то общее с современными автоматами (главный вал) и манипуляторами (поэлементный привод). Но первые и последние разделяет около двух с половиной тысяч лет! С помощью таких автоматов проводились театрализованные и религиозные действия; наряду с малыми автоматами были и большие, управлявшие движениями статуй. Замечено как-то, что по принципу действия современный торговый автомат очень напоминает древнеегипетский автомат, выдававший воду в обмен на монетку.

Изобретение пневматики связывается с именем александрийского механика Ктесибия. В рабовладельческой Греции III в. до н. э. отношение к механике было пренебрежительным, занятие ею считалось недостойным свободного человека. Не то в Александрии: этот космополитический город, столица эллинистического Египта, был тогда центром прикладной науки. Здесь Ктесибий занимался пневматическими и гидравлическими приборами. Он изобрел двухцилиндровый пожарный насос, который ни в чем существенно не отличает-

ся от современного, водяные часы, водяной орган, а также аэротрон — военную машину, в которой руль упругого тела играл сжатый воздух. Как пожарный насос, так и аэротрон представлял собой цилиндр с движущимися внутри них поршнями. Это первое в истории техники упоминание о кинематической паре цилиндр—поршень.

Вспомним, что великий математик и механик Архимед, один из самых замечательных ученых в истории человечества, родился в Сиракузах на острове Сицилия, но учиться поехал в ту же Александрию. Он добился очень многого. В математике он дошел до изобретения интегрального исчисления, намного опередив свое время. Он изобрел винт, усовершенствовал зубчатое колесо, нашел закон, носящий его имя, изобрел много новых машин. Во время осады родного города римлянами он создал новые военные машины, которые надолго задержали превосходящие силы римлян под стенами Сиракуз. Но все же город пал, и некий римский солдат убил Архимеда. Сохранилось предание, что последними словами великого ученого были: «Не трогай моих чертежей!»

К сожалению, до нас дошло мало сведений об инженерах древности: некоторые из них оставили написанные ими книги, у других известны лишь имена. Так, выше мы упоминали Герона Александрийского. До сих пор не совсем ясно, когда он жил: может быть, в первом веке нашей эры, а быть может, двумя веками раньше. Некоторые даже считают его учеником Ктесибия. Но зато сохранилось несколько его сочинений, по которым мы можем судить об уровне античной механики.

В своем сочинении «Театр автоматов» Герон описывает храмовые и театральные автоматы. По его словам, «представления автоматических театров пользовались в старину большой любовью, во-первых, потому, что в устройстве их проявлялось много механического искусства, а затем и потому, что самое представление бывало поразительным, ибо как раз при устройстве автоматов для различных их деталей приходится пользоваться всеми познаниями механики». Писал Герон и о военных машинах, но это его сочинение до нас не дошло.

Сейчас мы знаем, что в Древней Греции военные машины были очень распространены, и некоторые города имели целые арсеналы таких машин. Впрочем, подобная военная техника возникла и в других странах. Исходные метательные приспособления, лук и праща, независимо появились в разных уголках земного шара, и совершенствование их шло параллельными путями, которые, возможно, где-то и пересекались. Так, около пятисот лет до нашей эры в Китае древнейший камнемет представлял собой упругий шест, вкопанный в землю, к которому крепилась праща, несущая «снаряд» — камень.

В Римской империи были изобретены некоторые сельскохозяйственные и строительные машины. В конце I в. до н. э. римский архитектор и инженер Марк Витрувий Поллион написал «Десять книг об архитектуре». Его сочинение прожило долгую и славную жизнь: им пользовались как руководством по крайней мере полторы тысячи лет. Десятая книга сочинения посвящена машинам, и здесь же дано, вероятно, первое определение машины: «Машина есть сочетание соединенных вместе деревянных частей, обладающее огромными силами для передвижения тяжестей». Согласно Витрувию машины и орудия различаются тем, что машины для выполнения работы требуют большего числа рабочих или применения большей силы (таковы, например, баллисты и давильные прессы), орудия же выполняют задание умелой рукой одного человека.

Механики последующих двух столетий почти ничего не добавили к учениям древних в отношении машин. Правда, были введены некоторые усовершенствования. Так, в водяных мельницах у одного колеса появилось несколько приводов. Кое-какие улучшения внесли и в устройство военных машин, но все это было делом практиков, а не ученых.

В Византийской империи уровень познаний в области практической механики был относительно высоким. Известно, что в Константинополе был арсенал с большим количеством военных машин. Одновременно в границах Арабского халифата создавалась новая наука, причем ее создателями были все народы, населявшие халифат,— хорезмийцы, сирийцы, тюрки,

египтяне, арабы, испанцы. Объединяющим для всех них был арабский язык, язык науки и религии.

Главным источником знаний арабоязычных народов в области практической механики были сочинения греческих ученых, переведенные на арабский язык. Но эти знания были не только усвоены, но и развиты. Так, в средневековом арабском сочинении IX в. «Ключи науки» сообщаются сведения о простых машинах, о водяных и ветряных мельницах, о военных машинах и об автоматах.

Мы упомянули здесь о «простых машинах». Этот термин в течение очень длительного времени применялся для обозначения простейших подъемных приспособлений — рычага, блока, наклонной плоскости, клина и винта. Как мы увидим дальше, ни одно из этих приспособлений нельзя в полном смысле назвать машиной, и произошел этот термин, вероятно, от неправильного перевода того слова, которым Герон Александрийский обозначил эти простейшие подъемные приспособления. Ниже мы еще раз коснемся этого вопроса. Впрочем, на протяжении многих столетий вплоть до конца XIX в. и само понятие «машина» было неопределенным.

Развитие техники в арабоязычных странах определялось многими условиями: необходимостью создания системы орошения, ростом городов и связанных с ним строительством зданий, увеличением горной выработки, развитием торгового и военного судоходства, в частности ростом пиратского флота (ибо пиратство было тогда одним из важных занятий прибрежного населения Средиземноморья). Возникает много разных типов водоподъемных машин, приводимых в движение силой воды или силой животных.

В X—XI вв. производство муки на ручных мельницах было повсеместно прекращено. Водяные мельницы ставились не только на реках: в Басре в устьях каналов, питавшихся водой за счет прилива, были выстроены мельницы, которые приводила в движение вода, отступавшая во время отлива. В Месопотамии на Тигре действовало много плавучих мельниц. Мельницы Мосула висели на железных цепях посредине реки; каждая мельница Багдада имела по сто жерновоставов.

Ветряные мельницы впервые появились в Афганистане в IX в.: лопасти ветряного колеса располагались в вертикальной плоскости и были прикреплены к валу, который и приводил в движение верхний жернов. Почти одновременно с ветряными мельницами были изобретены и регулирующие устройства. Необходимость в таких устройствах диктовалась тем, что крылья мельницы были связаны с жерновом практически напрямую, и, следовательно, скорость его вращения сильно зависела от «капризов» ветра. В Афганистане все мельницы и водочерпальные колеса приводились в движение господствующим северным ветром, и поэтому ориентированы только по нему. На мельницах были устроены люки, которые открывались и закрывались, чтобы сила ветра была то больше, то меньше, поскольку при сильном ветре «мука горит и выходит черной, порой даже жернов раскаляется и разваливается на куски».

В странах арабского халифата большое распространение получило ткацкое искусство. Так, в Египте производились льняные и шерстяные ткани. Это мастерство перешло затем в Персию. Хлопок начали ткать в Индии, откуда он перешел в страны Средней Азии. В X в. хлопчатобумажные ткани из Кабула вывозили в Китай и в Персию. Центром шелкопрядения была Византия, шерстяные ковры ткали в Армении, Персии и Бухаре. Причем армянские ковры считались лучшими.

Такое массовое производство тканей для рынка явилось результатом совершенствования техники прядения и ткачества. Преобразование поступательного движения во вращательное с помощью педального механизма, освоенное в конструкции гончарного круга, вошло затем в конструкцию прядильного механизма, что улучшило качество пряжи и ускорило ее производство. Была усовершенствована конструкция ткацкого стана, который в античные времена представлял собой примитивную деревянную раму с простейшими механическими приспособлениями. Техники арабского Востока внесли в него ряд усовершенствований. По-видимому, около II в. до н. э. в Китае был изобретен станок с подвижными шнурами для поднятия и опускания нитей после каждого пролета челнока. Этот

станок был затем освоен ткачами Средней Азии и Ближнего Востока.

Так было в средние века. Машины уже прожили полторы тысячи лет, но мало в чем изменились. Кроме силы животных и воды, начали осваивать еще и силу ветра. Возникали новые машины, но они по принципу своего действия не отличались от старых: они, как и раньше, создавались ради экономии человеческого труда и вовлечения в работу мощных сил природы, превосходящих силу человека и животных. Как в годы Витрувия, так и тысячу лет после него машины делаются в основном из дерева, металлические детали крайне редки. Число механизмов, используемых при построении машин, остается одним и тем же, несмотря на то что еще Герону были известны многие остроумные машины.

Западная Европа могла черпать технические знания из трех источников. Первым было римское наследство, зачастую переработанное на местах. Второй источник — исламские сочинения XI—XIII вв. Третий — труды древних греков, которые сохранялись в Византии, а затем попали в Западную Европу несколькими путями: в XIII в. в результате грабежа крестоносцами византийских ценностей, в том числе и культурных, или в XV в. после падения Константинополя, когда многие византийские ученые, бежавшие на Запад, принесли с собой свое наиболее ценное достояние — греческие рукописи.

Страны Западной Европы получили в наследство от Римской империи отличные дороги и акведуки, водяные мельницы, военную технику и самые элементарные строительные приспособления. Ветряные мельницы, очевидно, распространялись через Испанию.

О конструкциях первых европейских ветряных мельниц ничего не известно, но, по-видимому, ветряное колесо сразу же начали располагать в вертикальной плоскости. Скорее всего, по своей конструкции ветряки отличались от водяных мельниц лишь положением движителя и главного вала. К концу XII в. они получили распространение во Франции и Англии, в основном в тех районах, где рек было недостаточно. В XI в. в Англии насчитывалось более пяти тысяч водяных мельниц. В то же время ветряные мельницы

появились в Голландии, в XIII в.— в Германии, в XIV в.— в Польше и на Украине.

Основное назначение мельниц — помол зерна. Однако уже в XII в. кому-то пришла в голову мысль заменить рабочие органы мельницы — жернова — другими органами, предназначенными для выполнения другой работы. В простейшем случае на главном валу мельницы вместо цевочного колеса был жестко закреплен кулак, он уже «управлял» рабочим органом. Так, в XII—XIII вв. появились сукноваляльные, железо- и бумагоделательные мельницы. Были и иные попытки использования силы водяного колеса. Зодчий Виллар де Оннекур из Пикардии, о котором известно, что он занимался строительством соборов, оставил после себя записную тетрадь, заполненную эскизами. Один из эскизов изображал мельницу, которая вместо жерновов имела... пилу, приводимую в движение с помощью шарнирного четырехзвенника.

Именно в это время жил великий английский естествоиспытатель и философ Роджер Бэкон, считавший, что истинное знание должно основываться на изучении природы и что основой каждой науки должна быть математика. Его мысли о будущем похожи на предвидения: он писал о том, что возможны такие орудия, при помощи которых «большие корабли, управляемые только одним человеком, будут двигаться по морю с большей быстротой, чем на всех парусах, что можно будет построить экипажи, которые помчатся с невероятной скоростью без помощи животных», что будут созданы такие машины, при помощи которых «человек, сидя спокойно и наблюдая различные окружающие предметы, рассекал бы воздух искусственными крыльями, наподобие птицы», что с помощью небольшого орудия можно будет поднимать величайшие тяжести, что можно построить и такие машины, которые дадут людям возможность ходить по дну морей и рек, не подвергаясь опасности.

Так говорил человек, который переплывал через Ла-Манш в утлом суденышке, ехал в Париж верхом на муле или в скрипучей повозке, а за вольнодумство долгие годы сидел в одиночной камере. Одним из первых Роджер Бэкон пришел к утверждению, что «опытные» науки имеют преимущество перед «умо-

зрительными», так как они проверяют свои заключения опытом, открывают истины, к которым нельзя было бы прийти иным способом, выясняют тайны природы и знакомят нас с прошедшим и будущим.

Еще один интересный мыслитель XIII в. жил в Каталонии. Это был Раймунд Луллий. Желая ввести в метафизические спекуляции точные методы расчета, он полагал, что все знания являются лишь частными случаями всеобщей науки, названной им великим искусством. Существует мнение, что именно он первым высказал идею создания вычислительной машины.

В X—XI вв. были изобретены механические часы. Их изобретение приписывается разным лицам. В частности, изобретателем часов называют математика Герберта Орийякского, который ввел в Европе «арабские» цифры и слыл «чернокнижником». Избранный римским папой и принявший имя Сильвестра II, он вскоре умер. Предполагают, что он был отравлен. В качестве изобретателей механических часов называют и других лиц. Во всяком случае схемы первых башенных часов были различными. С течением времени часы стали сложнее. Можно считать, что изобретение и изготовление часов определенным образом способствовали становлению механики. Очевидно, например, что зубчатые колеса столь широко распространились в технике во многом благодаря изобретению часов.

Итак, мы не знаем точно, когда и как были изобретены часы. Согласно некоторым документам около 1286 г. они были в Англии, около 1300 г. — во Франции, около 1335 г. — в Италии. До нашего времени дожил часовой механизм собора в Солсбери, построенный в 1386 г. Он состоит из двух серий колес, приводимых в движение гирями: одной — для указания времени, другой — для боя.

Техника построения машин постоянно развивалась. В конце XIII в. в Западную Европу попало прядильное колесо с бесконечным ремнем. Под влиянием «арабских» образцов ткацкий станок получил отдельный привод, тем самым энергетическая функция была отделена от функции технологической: последняя осталась за руками.

Росло и число механизмов, известных техникам. Привод ворота породил рукоятку, изогнутую дважды

под прямым углом, отсюда недалеко и до коленчатого вала, который появился в XIII в. в качестве удобного привода для ручной мельницы. Постепенно распространяются шарнирные механизмы.

Самое существенное в конструировании машин заключалось в том, что оно сопровождалось постоянным обменом идеями. Изобретения, рожденные на Востоке, вскоре обнаруживаются в западных странах, и наоборот. Конечно, каждый лучше знал своего ближайшего соседа, а то, что делали в отдаленных странах, знали лишь понаслышке, если вообще знали. Поэтому китайское или индийское изобретение доходило до Европы через одно-два столетия, не короче по времени был и обратный путь. Так, в III—V вв. в Китае был «изобретен» прибор для измерения расстояний — копия изобретения Герона Александрийского. В Китай он попал, по-видимому, через Индию. Водяная мельница появилась в Китае во II или III вв., а технологические мельницы — в XIII столетии, одновременно с западноевропейскими.

Особенно ясно этот «обмен идеями» проявился в развитии военных машин. Средневековые метательные машины строились по тем же принципам, что и античные, но менялись их типы, габариты, метаемые объекты, скорострельность. В частности, фрондибола была той же метательной машиной, только снабженной противовесом: к короткому плечу рычага, вращавшегося около оси, закрепленной в раме, подсоединялся противовес, а к длинному плечу подвешивалась праща. Аркбаллиста была комбинацией мощного лука с лебедкой для натягивания тетивы. Более тяжелой машиной для метания стрел была бриколь — в ней использовалась упругость дерева.

В Китае к VII—X вв. также были выработаны основные типы военных машин, наибольшего расцвета они достигли в X—XII вв. В VII в. китайские метательные машины попали в Корею и Японию, а также в Среднюю Азию. Но, по-видимому, среднеазиатские страны уже имели метательные машины греческого происхождения. Позже проявляется обратное влияние: некоторые типы камнеметов, построенные в Китае, назывались мусульманскими.

В самом начале XIII в. с китайской военной техникой ознакомились монголы. В середине XIII в. монгольский богдыхан Хубилай начал войну за захват всего Китая. Его войска осаждали китайские крепости, при этом монголы впервые применили так называемые мусульманские метательные машины. В западных походах монголы пользовались и китайскими, и мусульманскими военными машинами. Известно, что с их помощью в XIII в. хан Батый овладел Киевом.

Конструкция китайских камнеметов была иной, чем западных метательных машин. Основным упругим элементом в них был деревянный шест, лафеты были стационарными и передвижными, на колесах. Аркбаллисты имели иногда поворотное устройство, с помощью которого можно было вести круговой обстрел. Для натягивания тетивы применялся ворот.

Интересен вопрос о взаимовлиянии мирной техники непрерывного действия и военных машин дискретного действия. И в том, и в другом случае приводным механизмом служит ворот, с помощью которого можно получить необходимую степень натяжения упругого элемента. Упругость тетивы лука использовалась в ранних моделях токарного станка для приведения во вращение деревянной заготовки. В течение длительного времени, на протяжении полутора тысячелетий, подъемная, водоподъемная, мельничная техника мало в чем изменялась, тогда как военная техника развивалась быстрее, причем создавались новые типы вооружения. Отсюда несколько скептическое отношение средневековых ученых к механике, выразившееся, в частности, в своеобразном пояснении самого термина «механика»: его выводили от сходного по звучанию греческого слова, означающего разврат.

Переход к огнестрельному оружию поставил перед механиками новые задачи: улучшение техники изготовления стволов, обеспечение их прочности и точности стрельбы. Само открытие пороха — нового источника энергии дискретного действия явилось, по-видимому, результатом деятельности техников разных стран. Так, в последней четверти VII в. византийцы впервые применили «греческий огонь». Почти одновременно в китайском алхимическом сочинении был описан горючий состав из серы, селитры и древесного угля. К началу

X в. порох в Китае начали применять в военных целях — ранее пороховые смеси имели не метательное, а зажигательное назначение. Порох совершенствовался, и к началу XV в. было изобретено огнестрельное оружие.

Параллельно шло совершенствование пороховых смесей в Западной Европе. Изобретателями пороха считали естествоиспытателя Роджера Бэкона, монаха Бертольда Шварца, а также некоторых алхимиков. Так же, как и на Востоке, здесь в начале XIV в. появляется огнестрельное оружие. Уже в середине XIV в. англичане под предводительством короля Эдуарда III обстреляли город Кале. Одновременно огнестрельное оружие попадает и на Русь, сперва с Запада, а затем и с Востока. Соответственно образуются и военные термины «гарматы» и «тюфяки». Спустя столетие строились пушки весом до 300 кг из железных полос, сваренных в полый цилиндр и скрепленных обручами.

Однако результативность нового оружия была небольшой. Так, известно, что во время обороны Галича осаждавшие применили артиллерию. «Но ни во что же бысть се им, — писал летописец, — божиею благодатию не убиша бо никого же...» Так было не только на Руси: первые пушки если и убивали кого-либо, то в первую очередь пушкарей. Все это привело к необходимости создания новой технологии: от сварки полос перешли к отливке и к сверлению заготовок. Таким образом, можно считать, что рядом с поршневым насосом именно пушка стоит у колыбели паровой машины.

Так в жизнь человека вошли машины непрерывного и дискретного действия. Казалось бы, между ними нет точек соприкосновения, однако это не так. Обработка орудийных и ружейных стволов стимулировала развитие металлообработки и подъемной техники. Повысилась роль металла: части машин начинают делать не только из дерева, но и из металла.

В целом производство машин зависело от качества материалов и от их наличия. Но дело не только в этом. Видимыми и невидимыми нитями само конструирование машин уже во времена их затянувшейся юности связано с естествознанием, математикой, искусством — со всеми направлениями развития человеческой куль-

туры. На протяжении нескольких столетий, которые в истории Западной Европы обычно называются средними веками, или эпохой феодализма, происходили рост ремесленного производства и расширение рынка. В конце XIV в. в Италии появляется новая форма производственного объединения, основанного на ремесленном труде, — мануфактура. На протяжении следующего века мануфактуры распространяются в других странах Европы. Энергетической базой мануфактур продолжают оставаться труд человека, сила животных, вода и ветер, а основной машинной структурой — мельница. Таким образом, главным назначением машин оставалась замена физической силы человека, и лишь на самых элементарных операциях начали применяться прообразы технологических машин.

В середине XV в. турки, сломив сопротивление защитников Константинополя, овладели этим последним оплотом Византийской империи, и бежавшие от завоевателей ученые принесли с собой в Италию рукописи творений греческих писателей и ученых. В конце XV в. Христофор Колумб после длительного путешествия через Атлантический океан увидел землю, позже ее назвали Америкой.

Таковы были те события, которые определили начало эпохи, получившей название Ренессанса, или Возрождения. Интерес к научному наследию древних повысил интерес к науке вообще. Начинается постепенный отход от всеобщего языка науки — латинского к новым языкам. Появляются сочинения по технике, среди них видное место занимают разного рода собрания или «Театры машин», составленные техниками-практиками. «Театры машин» представляют собой описание известных автору машин, иногда собственных его изобретений.

Одним из самых выдающихся изобретателей эпохи Возрождения был Леонардо да Винчи — художник, архитектор, инженер, механик-практик и экспериментатор, хотя многие из его экспериментов были выполнены лишь на бумаге. Правда, его рукописи долгие годы лежали под спудом, и лишь в конце прошлого века началась их публикация, но все же они не остались в стороне от главного пути технического прогресса. У Леонардо было много учеников, знакомых с его

идеями и сотрудничавших с ним. А если обратиться к публикациям XVI в. по технике, то сразу станет видно, что многие авторы были знакомы с проектами и идеями Леонардо.

Изобретательский гений Леонардо был подкреплен обширными техническими знаниями. Он как бы сразу, во всех ее составляющих видел будущую машину. Он знал практически все разновидности зубчатых зацеплений, кулачковые, гидравлические и винтовые механизмы, передачи с гибкими звеньями... Он изобрел несколько типов экскаваторов и продумал организацию земляных работ одновременно на нескольких горизонтах. Он изобрел несколько гидравлических машин, в том числе тангенциальную турбину, прядильный и волочильный станки, станок для насечки напильников, приспособления для нарезки винтов, прокатный стан, станок для свивки канатов. Некоторые из его изобретений настолько опередили свое время, что остались недоступными для техники той эпохи. Сюда можно отнести центробежный насос, гидравлический пресс, огнестрельное нарезное оружие.

Вплоть до конца XVIII в. основное назначение машин остается одним и тем же — замена физического труда. Но появляются уже технологические машины, целью которых является замена действия руки человека, и именно развитие этих машин привело к промышленной революции. В XV в. была изобретена рогулька для ручной прялки. В XVII в. получили распространение самопрялки с ножным приводом. Весьма древним по своему происхождению является токарный станок. Он был известен уже около 500 г. до н. э. Со временем он становился совершеннее, росла его производительность, но принцип работы на нем долго оставался неизменным: в станке вращалась заготовка, а резец оставался в руках работника. Но вот в XVI в. Жак Бессон в своем «Театре инструментов» впервые описал станок для нарезки винтов с суппортом. Впоследствии изобретение суппорта повторил в начале XVIII в. русский механик Андрей Нартов, а в конце XVIII в.— английский промышленник Генри Модсли.

Агостино Рамелли, один из преемников Леонардо, издал книгу «Различные и искусные машины», которая неоднократно переиздавалась. В этой книге опи-

саны изобретенные им машины — мельницы, водоподъемники и грузоподъемники, насосы, конструкции которых зачастую чрезвычайно сложны. Поражает богатство механизмов: кривошипно-шатунные и кулисные устройства, различные типы червячной передачи, зубчатые зацепления. Есть и установка для одновременного чтения нескольких книг.

Подробно описал машины, применявшиеся в горном деле в XVI в. и ранее, немецкий врач, минералог и металлург Георг Бауэр, известный под латинизированным именем Агрикола. Согласно его сведениям в горнозаводских машинах уже тогда применялось железо для изготовления рам, зубчатых колес, подшипников. Ему уже было известно, как от одного водяного колеса можно привести в действие шесть насосов, несколько толчей. Идея привода нескольких механизмов от одного источника энергии тогда еще не имела значительного распространения и была одной из технических новинок.

Современником Агриколы был выдающийся итальянский врач, математик и механик Джероламо Кардано, имя которого сохранилось в названии известного механизма. Кардано — один из основоположников кинематики механизмов. К вопросу о передаче и преобразовании движения он подходил в определенной степени как теоретик, стремясь глубоко разобрать теорию и практику зубчатых зацеплений. Тем не менее при описании изготовления часов он тут же с грустью заметил, что «часовые механизмы нашего века проводят больше времени у часовщиков, чем у владельцев».

Нужно сказать, что инженеры того времени умели решать разнообразные технические задачи. Они умели сооружать даже сложные установки, прообразы машин автоматического действия. Одну из таких установок построил в середине XVI в. в Соловецком монастыре игумен Филипп (Федор Степанович Колычев), который впоследствии был митрополитом Московским и по приказу Ивана Грозного был задушен Малютой Скуратовым. Сохранилось описание его установки. В нее входили мельницы («мельницы делал да ручьи копал к мельницам, воду проводил к монастырю»), которые мололи зерно, просеивали помол и были еще и крупорушками («доспел севальню, десятью решеты

один старец сеет», «доспели решето, само сеет и насыпает и отруби и муку разводит розно, да и крупу само же сеет и насыпает и разводит розно крупу и высейки»). Мало того, установка имела к тому же устройство для приготовления кваса. Раньше этим делом занималась «вся братия и слуги многие из швальни», благодаря же устройству с работой справлялись один инок и пятеро служителей. Обратим внимание, как работало квасоделательное устройство. В нем квас «сам сольется изо всех щанов да вверх подоймут, ино трубою пойдет в монастырь да и в погреб сам льется да и по бочкам разодется сам во всем».

В монастыре были организованы соляной промысел, железоделательное и кирпичное производство. Изобретатель поставил несколько солеварен, соорудил сложную водную систему: «Горы бо великия прокопа и юдолия изборозди, и воду тещи от езера во езеро претвори и двадесятим бопятьдесят езером число и два источника сотвори и под монастырь во езеро приведе».

Интересно, что в «Механике гидравлико-пневматической» немецкого иезуита Каспара Шотта, опубликованной спустя столетие, описана машинная установка для пивоваренного завода, в общем напоминающая соловецкую установку.

В XVI в. были попытки создания и паровой машины, но они не увенчались успехом. Даже на протяжении XVIII в. основным источником энергии для больших установок продолжало оставаться водяное колесо.

Известны были две водяные установки — в Лондоне и в Марли. Третья установка — насосная система Змеиногорского рудника на Алтае — была малоизвестна, хотя с технической точки зрения она превосходила обе первые.

Лондонская насосная установка была построена в последней четверти XVI в. и служила для снабжения города питьевой водой. Через восемь десятилетий, после большого лондонского пожара, она была перестроена. В дальнейшем ее усовершенствовали, и для ее привода были построены четыре водяных колеса по 6 м в диаметре. В 60-х годах XVIII в. знаменитый английский инженер Джон Смитон добавил к установке еще

одну секцию, в которую входило колесо диаметром около 10 м с 24 лопатками длиной около 5 м.

Машина в Марли была построена в последней четверти XVII в. голландским инженером Раннекеном. Она поднимала воду из Сены, затем по акведуку вода поступала в водоем, откуда уже шла к фонтанам Версаля. Установка состояла из 14 колес, которые приводили в действие 253 поршневых насоса.

Змеиногорская гидравлическая система, построенная Козьмой Дмитриевичем Фроловым в 80-х годах XVIII в., приводила в движение лесопилку, кузницу, рудоподъемные машины двух шахт, водоотливные, рудодробительные и рудопромывающие устройства. Два колеса в системе Фролова были поистине огромными: одно диаметром 15,6 м работало на Вознесенской шахте, в подземной камере. Оно приводило в движение сложную трансмиссионную систему к двум рядам насосов. Другое — Екатерининское — колесо имело диаметр даже 17 м и тоже работало в подземной камере.

Естественно, что гидравлические установки обычных мельниц были значительно меньших размеров и имели небольшую мощность. Так, суммарная мощность гидравлических машин Англии к концу XVIII в. составляла примерно столько же, сколько и суммарная мощность людей и животных, занятых в промышленности. Нужно было найти новый источник энергии — универсальный промышленный двигатель, который бы дал возможность строить промышленные предприятия вдали от рек.

В том же веке возникла проблема создания технологических машин, в первую очередь для текстильного производства, где безраздельно господствовал ручной труд. Мануфактуры и отдельные ремесленники не могли справиться с множеством заказов. Нужна была машина, которая заменила бы ручной труд прядильщика. История таких машин началась с 1735 г., когда Джон Уайетт изобрел первую, по сути дела, прядильную машину. Но вот что любопытно и что довольно хорошо характеризует обстановку в промышленности того времени накануне промышленного переворота: эта первая прялка работала в буквальном

смысле благодаря... ослу, т. е. источником энергии служил осел.

В 1765 г. появляется прядильная машина периодического действия под названием «Дженни», построенная Джеймсом Харгивсом, в 1767 г. — ватерная машина Ричарда Аркрайта. Дальнейшие изобретения и усовершенствования полностью машинизировали текстильную промышленность, правда, пока только в производстве пряжи. И следствие: если ранее пряжи не хватало, то теперь образовался ее излишек. Изобретение Сэмюэлом Кромптоном «мюль-машины» еще более увеличило эти излишки. Всеми отчетливо осознавалась нужда в ткацком станке, отвечающем времени. И он появился. В 1785 г. деревенский священник Эдмунд Картрайт взял патент на механический ткацкий станок.

Не оставалась в стороне и Россия. Здесь в 1767 г. было 7 хлопчатобумажных мануфактур, а через 20 лет их число увеличилось почти в 35 раз. Более медленными темпами развивалась полотняная, шелковая и суконная промышленность. В 1760 г. хозяин прядильной мануфактуры в Серпейске Калужской губернии Родион Глинков построил 30-веретенную машину для прядения льна с приводом от водяного колеса и мотальную машину, заменившую десять человек, а также другие машины. В течение века в России было создано много металлообрабатывающих станков. В частности, в Туле Яков Батищев построил вододействующую машину для сверления и обдирки ружейных стволов и несколько других машин. На том же Тульском оружейном заводе впервые было налажено производство взаимозаменяемых деталей.

Развитие машин и механизмов во Франции в XVIII в. шло своими путями. Механики здесь занимались построением станков для производства шелковых тканей и автоматов. Особенно прославился в этом отношении Жак де Вокансон. Многие из построенных им автоматов моделировали движения человека и животных. В 1801 г. появился станок с автоматическим приспособлением, которое давало возможность изготавливать ткань из ниток разного цвета со сложным узором. Этот станок был первым, в механизм которо-

го было включено программное управление. Построил его Жозеф Жаккар.

Все изобретения, определившие характер промышленного переворота, работали в условиях старой энергетики —водяного колеса или силы животных. Новым универсальным промышленным двигателем стала паровая машина. Изобретена она была на рубеже XVII и XVIII вв. усилиями многих ученых и изобретателей, но прошло еще почти столетие, пока она не приняла форму, пригодную для применения.

Первая универсальная паровая машина была создана механиком Колывано-Воскресенских заводов Иваном Ивановичем Ползуновым. В апреле 1763 г. он разработал проект паровой машины, пригодной для привода машин. Машина была сооружена в 1765 г., но запустили ее лишь через полгода после смерти изобретателя. Она проработала несколько месяцев и была остановлена «за ненадобностью».

Удалось создать универсальный промышленный двигатель английскому изобретателю Джеймсу Уатту, который подошел к своей задаче, можно сказать, как ученый, начав систематически исследовать свойства водяного пара. Осенью 1763 г. он тщательно ознакомился с моделью машины Томаса Ньюкомена, созданной еще в начале века и служившей в качестве насоса для откачки воды из шахт, и в своей модели учел недостатки этой машины, приводившие к большому перерасходу угля. Кроме того, он придал своей машине универсальность использования.

Таким образом, промышленность получила универсальный двигатель. Следующим, завершающим этапом промышленного переворота стало производство машин при помощи самих же машин. Возникло машиностроение, и инициативу перехватили изобретатели металлообрабатывающего оборудования.

Машины заменяют не только физическую силу человека, но и его умение. В середине прошлого века машины начинают обслуживать едва ли не все области производства. Сперва машины изготавливались по отдельным заказам, затем заводы переходят к серийному производству, хотя в практике остается и индивидуальное производство машин, особенно больших

2 7—555

габаритов или с какими-либо специальными параметрами.

Уатт неустанно улучшал свою машину. В 1784 г. он построил паровую машину с центробежным регулятором и с силовой передачей через планетарный механизм. Тем самым он уменьшил вес маховика. Через год паровая машина впервые была поставлена для привода текстильного предприятия. К концу века в Англии и Ирландии работало уже более трехсот машин.

В Германию первая паровая машина было ввезена в 1785 г. Она была установлена на шахте. Во Франции первая паровая машина приступила к работе в 1779 г., а в 1787 г. в Париже братья Перье сконструировали и построили маленькую паровую машину, работавшую в комбинации с тремя водяными колесами, которые она обеспечивала водой. Колесо же приводили в движение токарные станки, молот и станок для сверления бревен.

В России в 1798—1799 гг. паровые машины были установлены на Александровской мануфактуре в Петербурге и на Гумешевском заводе на Урале. В США паровую машину высокого давления, по-видимому, самостоятельно построил в 1784 г. выдающийся изобретатель Оливер Эванс. Он разработал также систему взаимозаменяемости деталей (на 37 лет позже Тульского завода) и сделал попытку автоматизировать технологический процесс — он построил автоматизированную мельницу.

Здесь надо повторить мысль, высказанную веком ранее: в полной мере о машиностроении как о самостоятельной отрасли промышленности эпохи промышленной революции можно говорить, имея в виду конец XVIII в., когда появились машиностроительные заводы. Любопытно, что рост числа изобретений в то время казался современникам настолько быстрым, что высказывались прогностические суждения, согласно которым «еще через 50 лет будут сделаны другие изобретения, в сравнении с которыми паровая и прядильная машины, как они ни удивительны в наших глазах, покажутся изобретениями малозначащими и неважными».

Зарождалась и наука о машинах — машиноведение,

если применить современный термин. Истоки ее в тех самых «Театрах машин», которые, как уже говорилось, содержали рисунки и чертежи машин и краткие сведения о них. Пожалуй, самый полный «Театр машин» был создан саксонским механиком Якобом Лейпольдом. Эта грандиозная работа была издана (с материальной помощью Петра Великого) в девяти фолиантах и сохраняла свою ценность еще и в начале XIX в.

В XVIII в. рассчитывать машины не умели, да и не существовало еще методов расчета. А поскольку машины того времени были тихоходными, их строили по правилам статики. Впервые указал на то, что основное для машин — это движение, живший в России великий математик Леонард Эйлер. Позже французский геометр Гаспар Монж показал, что машина состоит из механизмов, которые он назвал элементарными машинами. В 1808 г. инженер Августин Бетанкур и математик Хосе-Мария Ланц написали первый учебник по курсу построения машин, в котором развили идеи предшественников. А в 1841 г. английский ученый Роберт Виллис определил понятие механизма.

Итак, оказалось, что машины состоят из механизмов. В первом учебнике по механике были учтены пока только 134 различных механизма, хотя число их на начало XIX в. было больше, но не превышало 200, из которых около половины было изобретено в XVIII в. Для сравнения укажем, что Иван Иванович Артоболевский в своем знаменитом справочнике «Механизмы в современной технике», получившем поистине мировое распространение, учел на конец третьей четверти XX в. 4746 механизмов. Получается, что за 170 лет (с 1800 по 1970 г.) количество механизмов возросло почти в 24 раза, в то время как с XVII по XIX в. оно всего лишь удвоилось.

Исключительную роль в механике машин сыграл основной механизм паровой машины — кривошипно-шатунный механизм, служащий для преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное. Этот механизм, без которого невозможен современный тракторный или автомобильный мотор, появился давно. Он ведет свою родословную от некогда придуманной ручки ворота. Но что любопытно: в первых паровых машинах не было кривошипно-шатун-

ного механизма потому, что он охранялся патентом. Поэтому пришлось дополнительно изобрести несколько механизмов для нужного преобразования. Среди них были планетарный механизм и так называемый параллелограмм Уатта, позже сыгравший существенную роль не только в механике, но и в математике.

Становление машиностроения стимулировало работу изобретателей над проблемой передачи энергии от паровой машины и распределением ее между станками. Появляются ступенчатые шкивы и гибкие бесконечные ленты, заполнившие цехи заводов прошлого столетия.

Еще в конце XVIII в. новое значение получили слово «промышленность» и его эквиваленты в европейских языках. На Руси XVII в. «промышленник» был связующим звеном между охотником и купцом, не всегда добропорядочным, а поэтому и термин имел несколько зазорный оттенок. Промышленник начала XIX в., конечно, не уходит далеко от своего предка эпохи первоначального накопления по части морали и нравственности, но вес буржуазии в обществе растет безудержно.

Промышленный переворот сопровождался разорением ремесленников, которые не могли конкурировать с крупным производством и пополняли резервную армию труда. Не понимая истинных причин происходящего, они обращали свой гнев не против капиталистов, а против машин, считая их ответственными за свою судьбу. Массовое разрушение машин в английских мануфактурных округах в течение первых 15 лет XIX в. было направлено в особенности против парового ткацкого станка. По словам Карла Маркса, потребовались известное время и опыт для того, чтобы рабочий научился отличать машину от ее капиталистического применения и вместе с тем переносить свои атаки с материальных средств производства на общественную форму их эксплуатации.

Паровая машина не только удовлетворила настоятельную потребность в универсальном двигателе, но и дала возможность создать механический транспорт. Первый локомотив, который можно было приспособить для транспортировки угля, построил в 1814 г. Джордж Стефенсон. Мощность машины была невысока, и по-

требовались годы для создания ее универсального транспортного варианта. Изобретатель оборудовал небольшой завод, на котором построил три локомотива для Стоктон-Дарлингтонской железной дороги. Эти локомотивы были маломощными, не могли развивать больших скоростей, но были пригодны, чтобы возить товарные составы. Пассажиров по-прежнему перевозили конные упряжки. Но Стефенсону удалось создать вместе со своим сыном Робертом новый паровоз «Ракету», который и обеспечил нужную скорость движения. В сентябре 1810 г. была открыта первая в мире сорокакилометровая пассажирская линия Ливерпуль—Манчестер (за одно десятилетие в Англии было построено уже около трех тысяч километров железных дорог.)

Через два года были построены две железные дороги во Франции: Париж — Версаль и Париж — Сен-Жермен. Еще через три года появились они и в Германии. Первой была сооружена дорога Нюрнберг — Фюрт, а через два-три года Лейпциг — Дрезден, Берлин — Потсдам. Не прошло и полувека, как вся Европа покрылась густой сетью железных дорог.

Через пять лет после открытия первой пассажирской линии в Англии в России также появилась первая железная дорога. Это была дорога от Петербурга до Павловска, построенная под руководством чешского инженера Франтишека Герстнера. В следующем десятилетии была построена дорога Варшава—Вена. И началось сооружение дороги Петербург — Москва протяженностью около 650 км, завершенное в 1851 г. После этого русская железнодорожная сеть расширялась быстрыми темпами.

Железнодорожное строительство сыграло важную роль и в развитии машиностроения. Возможность получения больших заказов на локомотивы, подвижной состав и различное машинное оборудование стимулировали развитие старых и постройку новых машиностроительных заводов. Для этих производств было создано специальное станочное и иное оборудование.

Одновременно происходило становление механизированного водного транспорта. Задачу создания судна с паровой машиной успешно решил американский инженер Роберт Фултон. Свое судно «Катарина Клер-

монт» он снабдил паровой машиной. Судно имело 42,6 м длины при 14,6 м ширины, диаметр колес равнялся 4,6 м. Топливом служили сосновые дрова. Успех Фултона послужил сигналом к развитию пароходостроения. Сам он построил еще 15 пароходов, в том числе первое паровое военное судно «Демологос».

В 1818 г. первый пароход пересек Атлантический океан, это была «Саванна», имевшая длину 30,5 м при ширине 7,9 м. Первый рейс до Ливерпуля был совершен за 26 дней, из которых 8 дней судно шло только под парусами.

Через 18 лет англичанин Смит применил вместо гребного колеса деревянный винт, длина которого равнялась двум шагам нарезки. Скорость парохода возросла. Правда, во время испытаний винт сломался. После этого изобретатель установил длину винта, равную одному шагу.

Первый пароход в России построил в 1815 г. петербургский заводчик Берд, он установил на нем уаттовский балансирный двигатель. Труба от парового котла была выложена из кирпича. Этот пароход, «Пироскаф», нес два гребных колеса по 2,4 м диаметром, имевшим по шесть лопастей. Путь от Петрограда до Кронштадта пароход проходил за 2 ч 45 мин. В следующем году начали строить пароходы на Ижорском заводе. Для военного флота в 1829 г. было построено 12 небольших пароходов.

Паровая машина в России получила и иное применение: для очистки Кронштадтского порта Августин Бетанкур запроектировал землечерпалку-экскаватор непрерывного действия. Машину построили на Ижорском заводе.

К концу первой четверти века пароходы появляются на реках России. В 1817 г. сначала на Каме были спущены на воду два небольших паровых судна, а вскоре пароходы стали ходить по Волге. Через шесть лет пошел первый пароход по Днепру, а еще через четыре года первое паровое судно было приписано к торговому порту Одессы.

Промышленный переворот, который начался в Англии, продолжался в других странах. С известной долей приближения можно считать, что в России он завершился лишь в третьей четверти века, после отме-

ны крепостного права, обеспечившего пополнение резервной армии труда.

Уже с начала прошлого века машины появляются во всех областях хозяйства. В сельском хозяйстве машины применялись и раньше, но лишь на тяжелых работах. В 1833 г. в США кузнец Джон Дир сконструировал цельнометаллический плуг, который быстро распространился по свету. В середине века в Англии был создан первый паровой плуг. В России плуг усовершенствовали в конце XVIII в., но материалом для его изготовления продолжало оставаться дерево. Только в 50-х годах инженер Э. П. Шуман сделал так называемый южнороссийский цельнометаллический плуг с широким полувинтовым отвалом.

В 1822 г. англичанин Г. Огль построил жатвенную машину, в которой использовал принцип ножниц. В 1826 г. П. Белл изобрел машину, пригодную для уборки урожая. Оригинальные конструкции жаток были созданы также в России. В середине прошлого века одновременно в Европе и США появились сеялки, сначала конные, а потом и паровые.

Значительно раньше появилась молотилка; еще в последней четверти XVIII в. шотландцы отец и сын Майкл построили молотилку, рабочим органом которой был барабан с билами. Эта система получила широкое распространение. В 1840 г. Тернер в США предложил иную систему, в которой зерно не выбивалось, а вычесывалось.

В России молотилки этой системы появились в середине века, хотя в основном применялись молотилки английской системы. Лишь в конце столетия в России и Западной Европе так называемая американская система получает преимущество. Молотилки, применявшиеся в небольших хозяйствах, имели ручной привод. Более крупные установки приводились в движение лошадьми. Изредка применялись и локомобили. Первый локомобиль построил американский изобретатель Оливер Эванс в 1805 г. В 30—40-х годах английские и французские заводы начали выпускать локомобили для привода сельскохозяйственных машин и для других целей. Сельскохозяйственные машины стали одной из первых групп технологических ма-

шин, в которых существенной частью были пространственные механизмы.

Нужно отметить, что наука о машинах развивалась в основном как описательная. Машины, как и раньше, строились по подобию, по образцам. Рассчитывались лишь некоторые параметры — размеры зубчатых колес, маховика, передаточные отношения, коэффициенты полезного действия, мощность двигателя. Но, конечно, одним копированием существующего, кем-то созданного дело не ограничивалось. Каждый изобретатель непременно вносил что-то свое, новое, что и вело к развитию машинных форм, ко все большему разнообразию механизмов, а в целом к становлению технологического машиностроения в последней четверти прошлого века.

В дальнейшем было создано большое количество разнообразного металлообрабатывающего обрудования — токарных, токарно-винторезных, строгательных и зуборезных станков. В 1829 г. Джеймс Несмит улучшил конструкцию фрезерного станка, и он стал одним из главных по тому времени станков. В 1843 г. Несмит же создал паровой молот. Это был крупный шаг в механизации кузнечного производства, развитии кузнечно-прессового оборудования.

Машинизация на новой технологической основе захватывает и горнодобывающую промышленность. Было изобретено несколько видов машин для прохождения глубоких скважин, созданы установки для канатного бурения. В середине века в шахтах и на рудниках появились перфораторы для бурения шпуров, хотя первый американский паровой перфоратор оказался тяжелым и неудобным в работе. Тогда попробовали заменить пар сжатым воздухом. Во Франции сконструирован первый пневматический перфоратор, и во второй половине века пневматическое бурение применили при проходке железнодорожных туннелей.

Еще в конце XVIII в. начались работы по созданию машины, которая облегчила бы тяжелый труд шахтера. В следующем столетии уже существовало несколько систем врубовых машин; так, в Англии в 70-х годах применялась врубовая машина, действовавшая сжатым воздухом. Однако и к концу прошлого века механизация подземных работ была чрезвычайно низ-

кой. Объясняется это дешевизной ручного труда, невысокими темпами развития горной промышленности, а также косностью, боязнью новизны. Аналогичным было положение и в других областях производства. К машинам относились с опаской: стоят они много, а сможет ли окупиться затраченный капитал, не ясно. Во время постройки железной дороги Петербург — Москва строитель дороги, автор первого русского теоретического труда по железнодорожному делу Павел Петрович Мельников приобрел в США новинку — четыре паровых экскаватора. Однако подрядчики отказались пользоваться экскаваторами, и их продали на Урал. Первый многоковшовый экскаватор на железнодорожном ходу был построен французским инженером Кувре в 1864 г. и использовался на земляных работах при проходке Суэцкого канала. При этом для отгрузки грунта были установлены цепные транспортеры. Ленточный транспортер появился в середине века, его построил на приисках Восточной Сибири инженер А. Лопатин. Транспортер применялся для выдачи золотоносного песка к машинам и промытого — в отвал.

Пример экскаватора, транспортера и некоторых других машин показал, что машины, изобретенные для технологических нужд одной отрасли промышленности, могли с успехом применяться и в другой. В данном случае речь шла о горнозаводском, строительном и дорожном производствах. Таким образом, происходит непрерывный обмен идеями и оборудованием. В этом проявлялись интегральные тенденции техники, обеспечивающие нужное решение на «стыке» различных ее направлений.

Проникновение машин в полиграфию, в пищевую, легкую, табачную промышленность и в некоторые другие отрасли производства существенно обогатило теоретическое и практическое машиностроение: для создания специальных машин потребовались новые механизмы с новыми свойствами. В этих машинах уже проявилась тенденция автоматизации производства.

Обобщая ход развития техники от простых орудий труда к автоматизации производства, Карл Маркс писал о том, что ход развития машин шел от простых орудий, накопления орудий, сложных орудий, приве-

дения в действие сложного орудия одним двигателем — руками человека, приведения этих инструментов в действие силами природы; к машине; системе машин, имеющей один двигатель, наконец, к системе машин, имеющей автоматически действующий двигатель.

Нарисованная картина — это точный «слепок» с действительности, с практики, в которой «рабочая часть» машин сыграла первостепенную роль, будучи стимулом развития как самой машины, так и системы машин.

Позже Фридрих Энгельс дал еще более развернутую характеристику эволюции машинного производства. По его словам, в крупной промышленности применяются двоякого рода машины: 1) кооперация однородных машин (механический ткацкий станок, машины для изготовления конвертов, которые исполняют работу целого ряда частичных рабочих путем комбинирования различных орудий), здесь уже имеется технологическое единство благодаря передаточному механизму и двигателю, 2) система машин, комбинация частичных рабочих машин (прядение). Последняя находит свою естественную основу в мануфактурном разделении труда, но имеет существенное различие. В мануфактурном производстве каждый частичный процесс необходимо было приспосабливать к рабочему, а здесь же количественное отношение отдельных групп рабочих повторяется в виде отношения отдельных групп машин.

И в этих классических высказываниях содержится не только итог пройденного техникой пути, но и прогноз, подтверждение которому — современное автоматизированное производство, широкое включение в него автоматов и роботов. Как считал Энгельс, самой совершенной формой фабрики «является автомат, производящий машины, автомат, который уничтожил ремесленную и мануфактурную основу крупной промышленности и тем самым впервые придал законченную форму машинному производству...»

Присмотримся к Марксову определению машины. В нем, как мы видим, есть указание на то, что всякая развитая машина (или система машин) состоит из трех составных частей — двигателя, передачи и ору-

дия. С этим были согласны все машиноведы, и на протяжении ста с лишним лет они выделяли в классе машин три подкласса — машины-двигатели, машины-передатчики и машины-орудия.

В течение почти всего прошлого века паровая машина была основным универсальным промышленным и транспортным двигателем. Однако коэффициент полезного действия паровой машины был небольшим, повысить его не удавалось, и поэтому творческая мысль ученых и изобретателей неизбежно должна была устремиться на поиски иных машин-двигателей.

Постепенно четко обозначились три основных направления поисков.

Первое направление. Здесь ученые и изобретатели пошли путем разработки способа непосредственного преобразования энергии топлива в механическую энергию вращающегося кривошипа, минуя промежуточное превращение воды в пар, поскольку оно приводило к большим потерям энергии. Это направление привело к созданию двигателя внутреннего сгорания, включая двигатель типа дизеля.

Второе направление — непосредственное получение вращательного движения с помощью улучшения древнейшего принципа машины, заложенного в водяном колесе. Здесь результат поисков — сначала водяная турбина, затем турбины, в которых рабочим телом стал пар, а уже в XX в. — газ.

Поиски в третьем направлении были самыми сложными. Заключались они в освоении нового вида энергии — электрической, в использовании ее для получения механической работы. Проблема создания электрического двигателя была связана с другой не менее важной проблемой — передачей электроэнергии на расстояние. Сперва были созданы генераторы постоянного тока, затем освоен и переменный ток.

Развитие машин с середины прошлого века идет все время убыстряющимися темпами. Машины улучшаются, появляются новые типы. Механизация проникает во все новые и новые области хозяйства, и машиностроительное производство занимает в последнем все более важное место. Вследствие повышения спроса на отдельные модели машин заводы от индивидуального изготовления переходят к их серийному выпуску,

а затем и к массовому производству. Важное значение приобретает стандартизация и нормализация деталей, узлов и целых агрегатов. Требования улучшения конструкций машин, облегчения их эксплуатации и ремонта, снижения веса и увеличения рабочих скоростей, требования надежности и долговечности, безопасности в работе (иногда нелогичные и не связанные с названием машины требования ее эстетики и оформления) — все это, а также многое другое, зачастую взаимно противоречивое, тревожило конструкторскую мысль. Большие скорости, развиваемые двигателями, заставили обратить внимание на силы инерции и ввести их в расчеты. Личное авторство создателей машин и механизмов нивелируется, и уже не всегда можно с определенностью выяснить, кому, собственно, принадлежит то или иное изобретение, поскольку машины, усовершенствованные на каком-либо предприятии, становятся собственностью этого предприятия.

На протяжении почти всего столетия за счет патента на паровую машину монополия сухопутного транспорта принадлежала железным дорогам. К концу столетия появляются самодвижущиеся экипажи, а в самом начале нашего столетия человек поднимается ввысь на аппаратах тяжелее воздуха. Тем самым открываются новые страницы истории машин.

В 1879 г. механик К. Бенц изобрел двухактный двигатель. После ряда усовершенствований через шесть лет ему удалось добиться того, что двигатель смог приводить в движение экипаж. Первый автомобиль Бенца был трехколесным, он развивал максимальную скорость — 16 км/ч.

В те же годы Готлиб Даймлер построил мотоцикл, на котором установил малогабаритный двигатель собственной конструкции. Колеса мотоцикла он изготовил из дерева, шины были железными, как в хорошей крестьянской телеге. Рама тоже была деревянной, и на ней закреплено было кожаное седло. По сторонам деревянных подножек для устойчивости устанавливались два маленьких колеса. Изобретатель установил свой двигатель на обычной извозчичьей пролетке и достиг на ней скорости 12 км/ч. В 1889 г. ему удалось разработать конструкцию двухцилиндрового двигателя: оба цилиндра он установил под углом 20° друг к

другу. Затем был построен автомобиль. Его стальные колеса, похожие на велосипедные, были одеты в резиновые шины. Мотор разместился сзади, под сиденьем. В том же году Даймлер показал свой автомобиль на Парижской всемирной выставке, и несколько французских фирм купили у него лицензии на производство автомобилей. Так возникла еще одна отрасль машиностроения — автомобилестроение.

В 1892 г. свой первый автомобиль построил американский механик Генри Форд. В начале века он организовал в Детройте крупный концерн по производству автомобилей и стал одним из создателей американской автомобильной промышленности.

С некоторым отставанием от автомобиля был создан летательный аппарат тяжелее воздуха — аэроплан. Произошло это в 90-е годах XIX в. В вышедшем в то время Энциклопедическом словаре Брокгауза и Эфрона слово «аэроплан» поясняется так: «воздушный змей, употребляемый для метеорологических наблюдений». А через десять лет это слово стало знакомым жителям больших городов. С ним связывались занимательные полеты на сложных конструкциях из бамбуковых шестов и веревок. Полеты часто заканчивались тем, что это нескладное сооружение ломалось и авиатор падал с небольшой высоты на землю. Хуже было, если высота оказывалась значительной. К счастью, такое случалось редко.

Одним из первых конструкторов аэропланов был русский контр-адмирал Александр Федорович Можайский. Он построил свой «воздухоплавательный снаряд» и в 1882—1885 гг. провел ряд опытов. К сожалению, аппарат не взлетел.

В 1898 г. построил аэроплан американец Хайрем Максим, известный изобретатель станкового пулемета, поднялся на нем в воздух, однако сразу же потерял устойчивость и упал.

В 1903 г. в воздух поднялись американские изобретатели братья Уильбер и Орвилл Райт. На аэроплане собственной конструкции они установили четырехцилиндровый двигатель, который с помощью цепной передачи приводил в движение два пропеллера. За 12 с самолет пролетел 53 м. Затем полеты начали осуществляться во многих странах, в том числе и в России.

В 1909 г. француз Луи Блерио на аэроплане собственной конструкции перелетел через Ла Манш.

Полеты из мечты превратились в действительность. Большой вклад в создание авиационной техники принадлежал замечательному русскому ученому — отцу русской авиации Николаю Егоровичу Жуковскому. В 1911 г. он приступил к исследованиям по отысканию наилучшего профиля крыла аэроплана, которые явились основополагающими при создании высокоскоростной авиации. Так возникает еще одна отрасль машиностреня — авиастроение.

Развитие новых отраслей промышленности обусловили рост станкостроительной промышленности и создание электроэнергетики. Уже в начале нового века появляются наряду с универсальными специализированные станки. Первенство в этом отношении от Англии и Германии перешло к Америке. Значительное развитие получило прессовое оборудование, приводимое в работу паром и пневматикой. Быстро разрабатывается оборудование легкой и пищевой промышленности, совершенствуется полиграфическое оборудование. Все чаще конструкторы уже не могут пользоваться известными им механизмами, и им приходится изобретать новые. Все большее значение приобретает электропривод. Повсеместно возникают специальные фабрики по производству электроэнергии — тепловые и гидравлические электростанции.

В России, которая по производству электроэнергии занимала перед первой мировой войной пятнадцатое место в мире, электростанции были маломощными и обслуживали небольшое число потребителей. Самой большой электростанцией была подмосковная «Электропередача», работавшая на буром угле. Здесь работали два турбогенератора.

Развитие энергетического машиностроения влияло и на другие отрасли народного хозяйства. Высокие скорости, большие давления, высокие температуры, высокая прочность и ряд других характеристик новых машин потребовали и новых конструкционных материалов. Развитие самолетостроения выдвинуло дополнительные требования максимального снижения веса всех элементов самолета при сответственном по-

вышении прочности. Все это стимулировало развитие металлургии и металлургического машиностроения.

Таким образом, процесс машинизации более или менее быстро охватил самые различные области промышленности. Но степень ее была неодинаковой. Наиболее низкой она оказалась на тяжелых и трудоемких работах в горной промышленности, на строительных и дорожных работах, на погрузочно-разгрузочных работах, на транспорте, включая внутризаводской транспорт, на строительстве железнодорожных путей и искусственных сооружений.

Первая мировая война переключила машиностроительные заводы на производство оружия. Возникают новые военно-транспортные средства, артиллерийские системы, создаются механизмы для производства артиллерийских расчетов. Были изобретены бронеавтомобили, а в 1916 г. в бою на реке Сомме англичане впервые применили танки. Были сконструированы военные самолеты, и к концу войны воюющие стороны уже обладали значительными авиапарками. В качестве бомбардировщиков дальнего действия немцы применили управляемые цельнометаллические дирижабли, названные по имени их изобретателя Фердинанда Цеппелина.

Так, машины прочно входили в жизнь людей. Человек мог о них ничего не знать, жить в далекой провинциальной глуши, никогда не видеть никакой машины, за исключением, быть может, мельницы, и все же он жил в машинном веке: какая-то часть его одежды, инструментов, бытовых вещей была сделана при помощи машин. Что же говорить о жителях больших городов, встречавшихся (или имевших дело) с машинами на каждом шагу, поскольку все их имущество состояло из вещей машинного производства, за исключением разве что нескольких предметов, о которых хозяева с гордостью говорили, что они ручной работы.

Важное значение для развития машиностроения приобрело развитие наук о машинах, т. е. создание технических наук. Так, в начале века Василий Прохорович Горячкин, ученик Жуковского, начал разрабатывать «земледельческую механику» — учение о сельскохозяйственных машинах. Чтобы машиностроители придавали оптимальную форму лемеху плуга, он

на основе специальных исследований предложил теорию резания грунта, которая быстро перешагнула рамки сельскохозяйственного производства и стала необходимой наукой для создания экскаваторов и иной землеройной техники. Возникает теория резания металлов, и построение станков получает научную основу. Однако все это были лишь частные разработки, а общей теории создано не было.

А между тем машиностроение уже перешагнуло ту ступень, когда конструкторы могли копировать существующие удачные образцы или назначать размеры, сообразуясь лишь с интуицией или «здравым смыслом». Уже первая мировая война показала, что при построении машин могут возникать проблемы, которые надо решать быстро и точно. Восстановление народного хозяйства в нашей стране после мировой, а затем гражданской войн потребовало напряжения всех сил народа. Прилив новых молодых сил вызвал подъем творчества в области точных наук.

И все же и у нас, и во всем мире до середины века машины принципиально не отличались от тех, которые строились в конце прошлого — начале нынешнего века. Менялась их форма, закруглялись углы, все опасные зоны закрывались кожухами, которые, слившись, превращались в «одежду» для машины, придавали ей новую, более «красивую» форму. Из цехов исчезала паутина трансмиссий, и их функции стали выполнять электродвигатели. Но машина продолжала оставаться механизмом или сочетанием механизмов, осуществляющим заданные целесообразные движения для производства или преобразования энергии или выполнения механической работы.

Старейшим из производств транспортного машиностроения было локомотивостроение. В дореволюционной России паровозы строились на Луганском и Харьковском паровозостроительных заводах. В 20-х годах оба эти завода вместе строили в год не более ста паровозов, но их выпуск начал быстро увеличиваться. В 1924 г. советский инженер Яков Модестович Гаккель спроектировал и построил первый в мире магистральный тепловоз, а в 1933 г. Коломенский завод приступил к его серийному изготовлению. Однако на железных дорогах до 40-х годов тепловозы почти не

применялись. Первый советский магистральный электровоз был построен в 1932 г.

В дореволюционной России практически не существовало автомобиле- и тракторостроение. Попытка поставить производство автомобилей в Риге на Русско-Балтийском заводе погоды не сделала. В течение 1907—1915 гг. завод выпустил только 451 автомобиль.

В 1923 г. в Петрограде началось изготовление тракторов «Фордзон-Путиловец», а через год завод АМО в Москве выпустил первые десять полуторатонных грузовиков. Первенцы, отечественного автотракторостроения проехали 1 мая 1924 г. по Красной площади.

Одновременно шла и «стандартизация» структуры обеих машин — автомобиля и трактора. Тогда же разрабатываются оба варианта ходовой части трактора — колеса и гусеницы, принцип которых заимствован был у танка.

В начале 30-х годов вступили в строй два больших автозавода — в Москве на базе завода АМО и в Нижнем Новгороде (г. Горький). Горьковский завод выпускал сперва полуторатонные грузовики и легковые машины, а Московский завод — трехтонные грузовики. Тогда же было освоено производство колесных тракторов на двух заводах, первенцах первой пятилетки — Сталинградском и Харьковском. Вскоре выяснилось, что колесный трактор имеет в условиях нашей страны недостаточную проходимость, в связи с чем оба завода начали изготовлять более мощный трактор на гусеничном ходу.

Существенные изменения произошли и за рубежом. Так, завод «Мерседес—Бенц» (Германия) начал устанавливать на своих легковых автомобилях вместо карбюраторных двигателей дизельные. Меняются также конструкция автомашин и их внешний вид: во второй половине 30-х годов сглаживается «угловатость» легковых автомашин, и они становятся более обтекаемыми. Учитывая, что автомашины вписываются в городской пейзаж и становятся его неотъемлемой частью, их окрашивают в яркие светлые тона. Представление об обтекаемости транспортных машин пришло в автомобилестроение из авиации, где ее изучение было обусловлено требованиями аэродинамики.

Авиация в нашей стране быстро достигла по всем показателям огромных успехов. Скорость самолетов-истребителей возросла до 650 км/ч, а их «потолок» поднялся до 10 км. Самолеты 20-х и начала 30-х годов были преимущественно бипланами, т. е. имели две несущие плоскости, к концу 30-х годов стали строить в основном монопланы, что и дало возможность повысить летные качества самолетов, прежде всего скорость полета.

В 1923 г. под руководством советского авиаконструктора Константина Александровича Калинина в Харькове был построен первый отечественный пассажирский самолет К-1. Это был моноплан, имевший звездообразный двигатель с водяным охлаждением. В 1933 г. им же был построен один из самых больших для того времени самолет К-7 на 120 пассажиров. Он имел семь двигателей. В 30-х годах было создано мощное семейство самолетов АНТ, построенных под руководством крупнейшего авиаконструктора Андрея Николаевича Туполева, ученика Н. Е. Жуковского. На самолете АНТ-25 был впервые осуществлен беспосадочный перелет Москва — Северный полюс — Ванкувер (США).

В середине 20-х годов под руководством Аркадия Дмитриевича Швецова был создан первый советский авиационный двигатель с воздушным охлаждением. Это значительно облегчило дальнейшее развитие авиации.

Вернемся на землю. Сельское хозяйство в 20-х годах повсеместно начинает механизироваться. Увеличивается число тракторов, появляются машины новых типов. К этому времени в США и Канаде были изобретены машины, в которых были совмещены функции жатки-косилки и молотилки. Эти машины, названные комбайнами, были испытаны в нашей стране. С начала 30-х годов Запорожский завод «Коммунар» приступил к выпуску комбайнов своей конструкции. Тогда же в строй вошли Саратовский завод комбайнов и Ростовский завод сельскохозяйственных машин, на котором было начато производство зерноуборочных комбайнов. Заметим, кстати, что на заводе «Коммунар» еще в 20-х годах впервые в практике советского машиностроения

была применена конвейерная система сборки машин (тогда завод выпускал жатки-лобогрейки).

Проводилась механизация и других сельскохозяйственных работ. Появились канавокопатели, машины для уборки овощей. В конце 30-х годов в США пытались создать свеклоуборочные комбайны. Первый патент на машину для уборки хлопка был выдан в США еще в 1850 г., но дело оказалось настолько трудным, что даже в конце 30-х годов хлопок практически повсеместно убирался вручную.

Быстрый рост машиностроения поставил новые задачи перед металлургией: советские заводы начали осваивать производство тяжелой металлургической техники. Быстрыми темпами закончилась реконструкция Старокраматорского машиностроительного завода, вступила в строй первая очередь Новокраматорского завода. В 30-х годах на этом заводе для «Запорожстали» был построен мощный обжимной двухвалковый прокатный стан, предназначенный для проката слябов. Одной из самых больших современных машин является блюминг — мощный обжимной прокатный стан, на котором можно прокатывать слитки весом до 20 т. Первый советский блюминг, изготовленный на Ижорском заводе, начал работать на Макеевском металлургическом заводе.

30-е годы — это время резкого скачка в развитии кузнечно-прессового оборудования, без которого было бы невозможным массовое производство машин. Одно из ценнейших достоинств этого оборудования — существенная экономия труда и металла: детали, изготовленные на прессах, почти не требуют дополнительной станочной обработки. Строительство мощных прессов началось в Германии и США в конце 20-х годов. В нашей стране в годы первых пятилеток удельный вес прессов и механических молотов отечественного производства значительно возрос. Был освоен выпуск паровых молотов с весом падающих частей 1—3 т, эксцентриковых прессов с усилием до 500 т и кривошипных прессов до 900 т, а также ножниц для резки металла, горизонтально-ковочных машин.

Естественно, что для приведения в действие таких мощных машин необходима была соответствующая энергетическая база. Основной энергетической маши-

ной стала турбина. Габариты турбин и их мощность непрерывно росли. Так, еще в 30-е годы на Ленинградском металлическом заводе была построена турбина мощностью 100 МВт.

Но каким бы крупномасштабным и быстрым ни была машинизация производства, до полного вытеснения трудоемких и тяжелых работ, выполняемых вручную, было еще очень и очень далеко. Особенно это относилось к рудной и угледобывающей промышленности, строительству, металлургии, машиностроению. Проблема эта с каждым годом становилась все острее. Необходимо было обеспечить производство безотказно действующим, надежным и безопасным механизированным инструментом. К той же проблеме примыкала и задача создания внутризаводского и внутрипостроечного транспорта. В горнозаводском производстве, кроме того, надо было механизировать и основные технологические процессы.

Механизация в горном деле быстро развивалась в годы первой и второй пятилеток. Был налажен выпуск врубовых и навалочных машин, конвейеров, шахтных лебедок и насосов, буровых машин. Создание врубовых машин и на их основе угольных комбайнов было дальнейшим шагом вперед. Практически к 40-м годам советская угледобывающая промышленность по степени механизации заняла первое место в мире.

Подобно горной технике, производство строительных и дорожных машин в значительной степени было поставлено в годы первых пятилеток. Отечественные заводы освоили производство бетономешалок, растворомешалок и приступили к серийному выпуску экскаваторов.

В конце первой пятилетки на строительстве появились ленточные транспортеры, сперва импортные, а затем и отечественного производства. На ряде заводов осваивалось производство пневматических компрессоров, что позволило повысить уровень механизации трудоемких работ и обеспечило их безопасность. Был создан также электромеханический инструмент, при помощи которого были механизированы многие трудоемкие работы на строительстве и в машиностроении.

Началась механизация тяжелых и трудоемких ра-

бот также на транспорте. Появляются путеукладчики и балластировочные машины, осваиваются и внедряются различные механизмы.

Структура машин и механизмов в 30—40-е годы претерпевает некоторые изменения: в качестве структурных элементов в их состав, кроме жестких и гибких элементов, начинают входить жидкие, газообразные, электромагнитные, а затем и электронные элементы.

Вычислительные машины — прообраз искусственного мозга. Вторая мировая война внесла значительные коррективы в развитие машиностроения. Инженерная мысль работала в основном в направлении совершенствования средств ведения войны, но вместе с тем развивались и такие направления машинной техники, которая могла с неменьшим успехом работать на мирном поприще.

Известный американский математик Норберт Винер, которого принято считать одним из создателей кибернетики, писал о том, что в начале войны первейшей задачей было спасти города от сокрушительных атак с воздуха, поэтому зенитная артиллерия была одним из первых объектов научных исследований, особенно когда артиллерия была соединена с засекающим аэроплан устройством — радаром. Радарная техника, помимо изобретения новых своих собственных форм, использовала те же формы, что и уже существовавшая радиотехника. Кроме обнаружения самолетов при помощи радара, было необходимо сбивать их. Это выдвинуло задачу управления огнем. Большие скорости вызывали необходимость вычисления элементов траектории зенитных снарядов машиной и придания самой машине определяющей упреждение цели, коммуникативных функций, которые прежде выполнялись людьми.

В результате к концу войны в США уже были созданы первые модели электронно-вычислительных машин, а через несколько лет машины такого типа появились и в нашей стране. Тем самым была решена одна из важнейших задач современной техники, позволившая непосредственно перейти к решению сложных проблем автоматизации технологических процессов, производства и управления и сооружения машин ново-

го типа, характерных для современной научно-технической революции.

Таким образом, машины начали овладевать еще одной функцией, свойственной человеку: они начали выполнять некоторые логические операции. За короткое время эти машины претерпели существенные изменения — они уменьшились в размерах, во много раз выросла скорость вычислительных операций и т. д. Электронные вычислительные машины могут управлять производственным процессом, экономикой предприятия, решать сложные математические задачи, рассчитывать полет самолетов и космических кораблей — словом, с огромной скоростью решать такие задачи, на которые множеству вычислителей понадобилось бы потратить годы, и даже такие задачи, которые вообще лежат вне пределов возможностей человека из-за чрезвычайной длительности и сложности расчетов.

Но и этим не ограничиваются возможности ЭВМ: они вводятся в структуру машин, приборов, технологических установок, чтобы на них и здесь возложить управленческие функции. Таким образом, ЭВМ иногда полностью, иногда частично взяли и здесь на себя то, что испокон веков было обязанностью человека-работника.

В 70-х годах в нашей стране была построена машина для диагностики врожденных пороков сердца. Она работала по методу сопоставления того, что заложено было создателями в ее память, с данными, полученными при обследовании больного. С этой машины началось внедрение ЭВМ в медицинскую практику.

Овладение быстродействующими вычислительными машинами, внедрение их в жизнь, науку и производство, создание совершенно новых классов машин, заменяющих некоторые психофизиологические функции человека, являются одними из составляющих глубокого революционного процесса, охватившего весь мир и называемого научно-технической революцией. Эта революция характеризуется прежде всего такими особенностями, как автоматизация производства, развитие новых направлений в энергетике (строительство атомных электростанций), выход в космическое пространство, создание новых конструкционных материалов с наперед заданными свойствами, становление

генной инженерии, бионики, информатики, повсеместное внедрение ЭВМ, превращение науки в производительную силу. Едва ли не все эти особенности тесно связаны с машиностроением, и роль последнего как ведущего направления в развитии народного хозяйства постоянно возрастает.

Мы видели, что машины эволюционируют, приобретают новые свойства. Однако этот процесс не только эволюционный. Он сплошь да рядом сопровождается изменениями революционного характера. Взять, к примеру, транспорт. Паровозы, безраздельно господствовавшие на протяжении полутора веков, освободили место тепловозам и электровозам. То же самое произошло и с паровыми двигателями, которые уступили место двигателям внутреннего сгорания. Затем возникли дизели, турбины, турбореактивные, реактивные и ракетные двигатели.

В послевоенные годы значительные изменения произошли в авиации: поршневые двигатели уступили место реактивным, что дало возможность поднять параллельную высоту полета («потолок») до 35 км, скорость полета — до 2500 км/ч. Естественно, что при этом менялся не только двигатель, но и весь самолет, этого требовали законы аэродинамики, условия повышения безопасности полетов, соображения экономики и т. д. Наряду с реактивными и турбореактивными двигателями стали использовать и турбовинтовые, высокоэкономичные и надежные, обеспечивающие высокую скорость и значительную дальность полета. В 50-х годах был создан первый турбовинтовой двигатель, занявший одно из ведущих мест в гражданской авиации.

Тогда же начался серийный выпуск турбореактивного лайнера Ту-104 конструкции Туполева. Этот лайнер на высоте 10 км развивал скорость 800 км/ч.

В 60-е годы коллектив под руководством Олега Константиновича Антонова создал самый большой в мире транспортный самолет АН-22 («Антей») — цельнометаллический моноплан с высокорасположенным крылом, на котором установлены четыре турбовинтовых двигателя, общая мощность которых сравнима с мощностью всей энергетики дореволюционной России. Естественно, что управление такими гигантами возможно лишь при очень высокой степени автоматизации.

Подобное явление наблюдается и в других отраслях народного хозяйства, где высокогабаритные машины зачастую оказываются необходимыми. Большая машина не только экономичнее соответствующего числа малых, но она тоже выполняет равную работу за меньшее время, кроме того, может выполнить и такую работу, которая находится вне пределов возможности малых. Так, одноковшовые экскаваторы изготовляются с объемом ковша до 6 м ^{3}; проектируются модели с ковшами 12—20 м ^{3}. Вскрышные экскаваторы сооружаются с емкостью ковша от 6 до 154 м^3. Ходовое оборудование у наиболее мощных моделей — четыре спаренные гусеницы. Многоковшовые экскаваторы также имеют гусеничный, а иногда и шагающий ход. В частности, в роторных экскаваторах рабочий орган — ротор — имеет до 12, а иногда до 24 ковшей большой емкости. Эти экскаваторы могут перетащить грунт на расстояние до 150 м с глубиной копания до 25 м. В 60-е годы на Новокраматорском заводе был начат выпуск роторных экскаваторов производительностью 3000 м^3/ч, а в следующем десятилетии — уже 5000 м^3/ч.

Нужно отметить, что в экскаваторы, как, впрочем, и в некоторые другие машины, начали вводиться два важных усовершенствования. Это гидропривод и шагающий ход. Гидравлические механизмы имеют ряд преимуществ по сравнению с механическими и электромеханическими передачами: с их помощью можно получить быстродействующие системы большой мощности и высокой точности. Поэтому они находят себе применение на самолетах, на судах с подводными крыльями, на ракетах, на прессах, на металлообрабатывающем оборудовании, на землеройных машинах.

Росли габариты и энергетических машин. В конце 50-х годов в Харькове были сооружены паровые турбины мощностью 100 МВт. Эти турбины успешно работали на отечественных тепловых электростанциях. Но вскоре выяснилось, что необходимы еще более мощные машины, и вот создаются турбины, мощность которых за одно десятилетие возросла в 2,5—5 раз, а в 70-е годы мощность паровых турбин в одном агрегате увеличилась уже в 13 раз.

Растет также мощность гидротурбин, при этом наблюдается тенденция к снижению веса и одновремен-

но к повышению технико-экономических показателей машины. Уже в 70-е годы мощность гидравлических турбин превысила 600 МВт в агрегате.

Все современные высокомощные и высокопроизводительные гигантские машины соответствуют потребностям конкретного периода в развитии общества. Однако увеличение габаритов, веса, мощности, скоростей не может быть беспредельным. В какой-то момент параметры машины войдут в противоречие с ее производительностью, экономичностью, стоимостью и возможностями эксплуатации. Тогда появится решение проблемы, основанное на новых принципах, будет создана новая машина или предложен новый технологический процесс.

В середине века были созданы машины, при помощи которых человек вышел в космическое пространство. Первый советский искусственный спутник Земли, первый полет человека в космос свидетельствовали о том, что возможности машин еще не исчерпаны. Правда, эти машины не похожи на машины прошлого века, которые, в свою очередь, также значительно отличались от своих «предков», хотя и не столь коренным образом. Меняются и принципы действия, и механизмы, из которых собрана машина, и материалы, из которых она изготовлена, ее форма и внешний вид. Бывает и так, что последнее оказывается решающим, старое содержание прячется под новой формой. Но какими бы разнообразными ни были машины и какие бы отрасли промышленности они ни обслуживали, всем им свойственно то, что они заменяют человека в какой-либо из его функций. Они заменяют или его физическую силу, или его профессиональное умение, или какую-либо из его физиологических функций, или его умственную деятельность. Важно еще и то, что с помощью машин можно воспроизвести не только те функции, которые присущи человеку, но и такие, которые ему не свойственны, но они есть у других представителей животного мира, например у дельфинов или пчел...

Говоря об экскаваторах, мы упоминали, что некоторые из них являются «шагающими». Шагающим машинам принадлежит большое будущее: такая ма-

шина может пройти и по бездорожью, и по пересеченной местности.

Мы только что говорили о машине как об искусственном «организме», способном заменять некоторые человеческие функции. Но она может заменить и целую группу функций и стать, таким образом, некоторым подобием человека.

Эта идея не нова. Мечты о создании механического человека встречаются в греческой мифологии, в сочинениях средневековых алхимиков и в трудах философов-просветителей. Еще два века назад многие механики работали над созданием автоматов, которые в большей или меньшей степени напоминали человека и животных.

Создание систем, в чем-то схожих с человеком, стало возможным, когда высокой степени совершенства достигли ЭВМ. Роботы и манипуляторы появились в промышленности в первые годы второй половины века. Сначала они применялись там, где непосредственное участие человека в рабочем процессе было невозможным или опасным, — в атомной энергетике, в космосе, на морских глубинах, в некоторых химических производствах.

Только три десятилетия назад в США был выдан патент на автомат, который впервые назвали промышленным роботом, там же были всего за несколько лет построены первые образцы таких машин, вскоре попавшие в Японию. Теперь Япония ведущая страна по производству промышленных роботов, в котором заняты более ста фирм.

В нашей стране созданы роботы как универсального, так и специализированного применения. Их конструкции непрерывно совершенствуются. Семейства роботов и манипуляторов постоянно пополняются новыми образцами. Лишь несколько десятков лет отделяет нас от того времени, когда на Луне начала работать советская космическая станция, обладавшая системой искусственного зрения, которая смогла исследовать спутник Земли в непосредственной близости к нему. Американский луноход уже мог передвигаться по поверхности Луны по командам с Земли. В 1970 г. на Луну был доставлен с помощью автоматической межпланетной станции советский самоходный аппарат

«Луноход-1», который имел шасси высокой проходимости и принимал команды с Земли. Через три года уже начал работать «Луноход-2» — автоматический аппарат с целым рядом усовершенствований.

Это было началом нового направления техники — космической техники, которая в течение последнего десятилетия развилась в важное универсальное направление.

Вообще же машины автоматического действия — это машины будущего. Постепенно они осваивают все большее и большее число функций человека и живого организма, очевидно, с их помощью будут решены не только специальные задачи машинной техники, но и одна очень важная, общая многим отраслям промышленности задача механизации трудоемких и тяжелых работ, которая до настоящего времени создает разрывы в цепи полной автоматизации производственных процессов.

Мы говорили уже о некоторых аналогиях между миром живых существ и миром машин. Обратим внимание на тот факт, что совершенствование живых существ, приобретение ими новых качеств и переход в «новое состояние» требуют многих миллионов лет. Сам человек развивался не менее двух миллионов лет. Машина же — результат человеческого творчества, напряженной и непрерывной работы мысли и умения целого ряда сменявших друг друга поколений, как уже говорилось, прошла свой путь совершенствования всего за две с половиной тысячи лет.

В настоящее время много работ по обслуживанию человека на производстве и даже в быту переложено на машины. Уже есть основание к общеизвестным «царствам» природы — растительному и животному — добавить «царство» машин.

В последние годы специалисты в области генетики далеко продвинулись в понимании сущности живых средств. Возникло новое научно-техническое направление — генная инженерия, исследующая возможность изменения биологической природы живого существа. Операции генной инженерии по своей сущности в чем-то подобны операциям совершенствования машины: и

в том, и в другом случае объект приобретает новые свойства, отсутствующие у исходного.

Еще два века назад естествоиспытатели хотели подойти к животному и к человеку как к машинам. Но о сущности машины ясного представления еще не было, да и о человеке познания были весьма неполными. Поэтому подобным утверждением ставили знак равенства между двумя неизвестными объектами и из этого выводили далеко идущие следствия.

В настоящее время оба объекта — и человек, и машина — изучены значительно лучше. Поэтому попробуем выяснить то общее, что присуще обоим этим объектам, но с другой точки зрения. Принимая во внимание, что машины — это результат интенсивного человеческого труда и человеческой мысли, а также и то, что они создавались как искусственное продолжение (и развитие) того или иного органа человека, можно, стало быть, говорить об их естественной истории. Наш краткий экскурс в эту историю показал, что развитие машин шло, несмотря на кажущуюся хаотичность, по строгим закономерностям. Все излишнее, ненужное, возникающее на протяжении срока такого краткого по сравнению с жизнью человечества отбрасывалось и оставалось в памяти лишь как курьезы, не заслуживавшие серьезного внимания. Впрочем, здесь, как и в других областях человеческой деятельности, случались и ошибки: отброшенные «курьезы» оказывались интересным решением технической задачи, и к ним возвращались, но уже на новом техническом уровне.

Так как машины являются усовершенствованными и целенаправленными органами человека, то, очевидно, принципиальное подобие между живым существом и его механическим отображением все время возрастает. В особенности это относится к машинам автономного действия. Возникают машины с искусственным интеллектом, самообучающиеся машины и, очевидно, появятся в ближайшее время еще новые классы этих машин. Возможно, что в дальнейшем искусственный интеллект будет создаваться не на электронной, а на биологической нейронно-волоконной основе. Но все это — дело будущего.

В целом можно так сформулировать основные этапы эволюции машин: 1) от времени изобретения первых механизмов до конца первой трети XVIII в. — машина заменяет физическую силу человека, ее составляют двигатель, передача, рабочий орган; 2) с середины XVIII в. до середины XX в.— машина заменяет физическую силу человека и его умение; в ее состав начинают входить элементы регулирования и управления; 3) с середины XX в. до настоящего времени — машина заменяет физическую силу человека, его умение и некоторые его физиологические и психические функции; в ее структуру входят элементы регулирования, управления, искусственного интеллекта.



2

СТРОЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ, или „анатомия“ машин

В конце XIX — начале XX в. в Англии жил и творил выдающийся художник-юморист Хит Робинсон. Объектом своих насмешек он избрал... машину. Он выдумывал машины для самых разнообразных и самых невозможных целей. Как правило, машины на его рисунках поражают своими размерами, грубостью техники исполнения и явным несоответствием между затраченной и получаемой работой. Сделаны они «из-под топора», связаны веревочками, карикатурны в прямом смысле этого слова, и несмотря на все это, их можно выполнить «в натуре» и даже заставить работать, что иногда и делалось, в частности, самим же художником. Более того, у него среди машиностроителей была такая высокая репутация, что они неоднократно «пользовались» его идеями.

В годы первой мировой войны карикатурист «перешел» на создание военной техники. Существует мнение, что он имеет несомненный приоритет в таких делах, как камуфляж, использование дымовых завес. Известно также, что его приглашал для разговора один из руководителей британского генерального шта-

ба. Генерал этот упорно старался узнать у художника, откуда он получил информацию относительно одного чрезвычайно секретного военного изобретения, и никак не хотел поверить, что художник сам додумался до него. Говорили даже, что сотрудники немецкого генштаба также не пропускали ни одного номера тех журналов, в которых карикатурист публиковал свои рисунки.

Выходит, что, несмотря на свой неприглядный внешний вид и крайнюю грубость конструкции, машины, нарисованные художником, обладали чем-то, что свойственно вообще всем машинам, — у них был присущий им «организм». Ведь, по мнению специалистов, машина есть устройство, создаваемое человеком для использования законов природы с целью облегчения физического и умственного труда, увеличения его производительности путем частичной или полной замены человека в процессе труда. Это устройство так или иначе занимается преобразованием энергии и материалов, переработкой информации.

Вычленяя то общее, что присуще любой машине, мы неизбежно придем к двум понятиям — машина и механизм. Оба эти понятия иногда перекрывают друг друга, но и в этом случае они описывают один и тот же объект, с двух, естественно, различных точек зрения. В только что приведенном определении машины на первом месте стоит ее «динамическая» сущность, т. е. то, что она производит работу, заменяя при этом человека.

Механизм — это приспособление для передачи и преобразования движения, а движение, в свою очередь,— обязательный атрибут машины; в этом ее существенное сходство с живым организмом.

Машина может состоять из одного или нескольких механизмов, которые выполняют различные функции. В своей совокупности они должны составить такую последовательность или цепь, которая, исходя из некоторого данного движения, преобразует его в тех целях, для выполнения которых и создана машина.

Выше уже говорилось, что в машине с древних времен различали три составные части: двигатель, передачу и орудие. Двигатель, или приемник, производит или принимает работу, предназначенную для приве-

дения машины в действие; передача служит для распределения работы по рабочим органам машины, которых у машины может быть один или несколько.

Рабочие органы обязательны в каждой машине. Без них нет машины, если исходить из ее предназначения. Иными словами, рабочий орган — обязательное условие существования машины.

С давних же времен в состав машины иногда вводились еще органы, регулирующие ее ход, а иногда и управляющие им. Эти органы, очевидно, не входят в число трех обязательных.

Современная научно-техническая революция выявила наличие еще трех составных частей машины — регулирующей, логической и кибернетической, которые не обязательны, но которые все чаще встречаются в составе машин.

Интересно, что не только в каждой машине есть три вида обязательных составных частей и три необязательных, но подобное же разделение по основному назначению можно отнести и к самим машинам. Могут быть машины-двигатели, машины-передатчики, машины-орудия, логические машины и т. п. Так, например, токарный станок является рабочей машиной, или машиной-орудием. Но это в то же время и настоящая машина, в ее составе мы можем обнаружить двигатель, передачу, орудие, а возможно, и логическую группу (станки с программным управлением).

Продолжим наш анализ. Рассмотрим, из каких частей состоит механизм. Прежде всего, это — звено. Звеном называют «скелетную» часть механизма, т. е. его несущую конструкцию, но — и это надо обязательно иметь в виду — абстрагированную от физических свойств материала. Такими свойствами уже обладает та или иная деталь звена.

Число звеньев меньше числа механизмов. Известно около пяти тысяч механизмов, но звеньев же около двухсот. Сюда относятся рычаги, кулачки, зубчатые колеса, диски, «мальтийские кресты», винты и гайки, а также звенья, обладающие различными свойствами. В зависимости от своего назначения звенья могут иметь различную форму (например, зубчатые колеса: цилиндрические, конические, эллиптические, винтовые) и различные размеры.

С того времени, когда было выяснено, что машины состоят из механизмов, и до настоящего времени продолжаются попытки классификации всего этого непрерывно растущего множества. Их классифицировали по форме, по характеру передаваемого ими движения, по их функциональному значению, выясняли их теоретическую структуру. Все эти попытки вошли в фонд учения о машинах, но самая известная из них, получившая мировое признание, это классификация одного из основателей русской научной школы по теории механизмов и машинам Леонида Владимировича Ассура. Об этой классификации, разработку которой продолжила советская школа ученых-механиков, речь пойдет ниже.

Работа над систематикой механизмов не завершилась и сейчас, так как всегда обнаруживаются такие механизмы, которые не «вписываются» в общепринятую классификацию. Вплоть до настоящего времени разрабатываются и предлагаются новые квалификационные системы, основанные на различных принципах. Эти попытки имеют целью не только найти более точную универсальную систему механизмов, но и облегчить построение новых механизмов и машин, облегчить их синтез, а также дать возможность заменять механизмы одного строения другими, которые выполняют аналогичные преобразования движений.

Звенья не могут существовать в составе машины не связанными друг с другом. Каждые два звена сочленяются одно с другим кинематическими парами, которые на взаимное движение обоих звеньев накладывают определенные ограничения. Последовательность звеньев, связанных между собой кинематическими парами, называется кинематической цепью.

Таким образом, мы можем подойти и к определению механизма: механизм — это замкнутая последовательность звеньев, сочлененных между собой парами, при этом одно или несколько звеньев служит для приложения работы и одно или несколько других — для получения полезной работы. Это ведущие и ведомые звенья. Их наличие в механизме обязательно, тогда как другие — промежуточные звенья — могут и отсутствовать.

Понятие замыкания цепи является достаточно широким. Цепь замыкается не только с помощью постоянной кинематической пары, но и в процессе рабочей операции. Рабочее орудие и обрабатываемый материал также образуют кинематическую пару. Расширение понятия замыкания в особенности пригодно при изучении таких цепей, как роботы и манипуляторы, которые в нерабочем состоянии представляют собой разомкнутые цепи.

Очень важной характеристикой цепей служит число их степеней свободы. Дело в том, что каждое тело, взятое отдельно, имеет в пространстве шесть степеней свободы: оно может сделать прямолинейное движение в направлении всех трех осей в прямоугольной системе координат и криволинейное — вокруг тех же трех осей. Но реально оно может двигаться в каком-то одном направлении. Так, камень, брошенный в какомлибо направлении, в своем полете опишет определенную траекторию, форма которой будет определяться силой броска, земным тяготением, плотностью и движениями воздуха, сопротивлением воздуха, зависящим от формы камня. Аналогично этому происходит полет артиллерийского снаряда с тем лишь отличием, что в этом случае траектория полета предсказывается с некоторой возможной ошибкой.

В машине необходимая траектория движения рабочего звена должна быть точной и заранее предсказанной, что достигается с помощью связей, наложенных на движение звеньев. Именно для этого и создаются кинематические пары. Каждая пара в зависимости от конфигурации и ряда условий соприкосновения звеньев накладывает от одной до пяти связей и, таким образом, допускает от пяти до одной степени свободы. Если мы сможем вычислить числа связей, накладываемых на цепь всеми кинематическими парами, то в результате получим число степеней свободы исследуемого механизма.

По конструктивным признакам основные механизмы можно свести в следующие группы:

1) стержневые, или рычажные (шарнирные) механизмы;
2) фрикционные механизмы;
3) зубчатые механизмы;

4) кулачковые механизмы;
5) механизмы с гибкими звеньями;
6) винтовые механизмы;
7) механизмы с упругими звеньями;
8) комбинированные механизмы;
9) механизмы переменной структуры;
10) механизмы движения с остановками;
11) гидравлические механизмы;
12) пневматические механизмы;
13) электромагнитные механизмы;
14) электронные механизмы.

Естественно, что в эту классификацию не укладываются многие механизмы, применяемые в настоящее время при построении машин. Однако перечисленные группы охватывают большинство элементов — звеньев механизмов, которые известны на практике. Рассмотрим эти группы.

Рычажные механизмы. Происхождение стержневых, или рычажных, механизмов очень древнее: их прообразом был рычаг, одно из наиболее старых орудий, освоенных человеком.

Рычаг является как бы удлинением руки человека. Если рассматривать движения, возможные для тела человека, точнее, для его скелета, то окажется, что мы имеем дело с системой связанных между собой стержней. Суставы, связывающие между собой стержни, есть ничто иное, как кинематические пары, и они дают возможность звеньям всей кинематической цепи (скелета) совершать такие движения в пространстве, которые разрешает форма суставов. Суставы различаются между собой. Некоторые из них, как, например, сустав плеча, обеспечивают возможность пространственного движения руки: этот сустав идентичен сферической паре, применяемой в пространственных механизмах. Она называется сферической потому, что в ней одна сфера (головка стержня) вращается в сферической чашке (подшипнике). Другие суставы, например суставы пальцев, дают возможность только плоского движения. Таким образом, тело человека можно рассматривать как механизм очень сложной структуры, состоящий из (условно) прямолинейных звеньев, связанных между собой кинематическими парами. На протяжении двух тысячелетий усилия мно-

гих механиков были направлены на то, чтобы построить искусственный механизм, подобный этому.

В XVI—XVII вв. некоторые художники-маньеристы также пытались привести человека к совокупности звеньев, связанных шарнирами, но такие попытки не дали ожидаемого результата. Многого удалось добиться уже в наше время (в последней трети XX в.), когда вплотную занялись робототехникой. Правда, полностью скопировать движение человеческой руки, например, пока ни один робот или манипулятор не может. Рука человека, рассматриваемая как кинематическая цепь, имеет 22 степени свободы, тогда как для манипулятора 7—8 степеней свободы уже труднодостижимы. Все же поиски подобия здесь несомненны. То же самое и в еще большей степени относится к механизмам протезов, которые должны взять на себя действие отсутствующих органов человеческого тела. Правда, и теоретически и даже практически можно построить механизм, кинематика которого допускала бы 22 степени свободы и даже выше, но создание системы управления всеми этими звеньями, и притом так, чтобы в результате получалось одно определенное и точное движение, представляет собой непреодолимую (во всяком случае для настоящего времени) трудность. Иначе говоря, можно получить скелет без мускулов!

Несмотря на свое древнее происхождение, рычажные механизмы развивались чрезвычайно медленно. С известной степенью приближения к ним можно отнести ось с коленом — привод ворота. От этого колена, как уже отмечалось, ведет свое начало коленчатый вал, нашедший применение в двигателях внутреннего сгорания.

Нужно сказать, что все механизмы, и в первую очередь рычажные, выполняли какую-то определенную задачу: они воспроизводили те движения, которые умел выполнять человек. Но не просто воспроизводили (если бы это было так, то в них не было бы нужды), а придавали этим движениям новое качество — либо увеличивали, либо, наоборот, уменьшали скорость, а зато приумножали силу... К понятию работы ученые пришли путем многих и длительных размышлений в течение последних столетий, но сущность закона: то,

что «выигрываем в силе, проигрываем в пути», была известна еще с античных времен, а возможно, и раньше.

В составе машин рычажные механизмы появляются относительно поздно. Во второй четверти XIII в. архитектор Виллар де Оннекур собрал в своей «записной книжке» эскизы различных строительных и механических конструкций, с которыми ему пришлось иметь дело. Здесь есть, в частности, чертеж лесопильной мельницы с водяным приводом, основным механизмом которой является шарнирный четырехзвенник. На протяжении следующих четырех столетий было изобретено всего несколько шарнирных механизмов.

Лишь в конце XVIII в. оживляется работа над созданием рычажных механизмов, и связано это было с изобретением паровой машины. В первой части книги уже говорилось о том, что Уатт для своей машины изобрел механизм параллелограмма, благодаря которому возвратно-поступательное движение поршня преобразовывалось в движение рабочих машин. Говорилось и о том, что еще до параллелограмма Уатта был изобретен кривошипно-ползунный механизм для преобразования движения поршня во вращательное движение кривошипа. Так, в состав машин вошли кривошипно-ползунный механизм, основной механизм первых универсальных энергетических машин, и параллелограмм Уатта, одно из самых гениальных изобретений в истории техники. Сам изобретатель писал о нем так: «... хоть я и не особенно забочусь о своей славе, однако горжусь изобретением параллелограмма более, чем любым другим моим изобретением».

Названный механизм работает следующим образом: шток ползуна шарнирно сочленен с серединой тяги, концы которой также шарнирно связаны с двумя рычагами, из которых один шарнирно сочленен с рамой машины, а второй — с балансиром. В конечном счете концы тяги движутся по дугам окружностей, а ее средняя точка приближенно описывает прямую линию. Уникальность этого изобретения заключается в том, что впервые был синтезирован механизм для приближенного преобразования движения. Кроме того, и это весьма существенно, оно послужило отправным пунктом весьма многих теоретических и практических

работ, в результате которых стержневые механизмы вышли на одно из первых мест среди органов машин.

В начале второй половины прошлого века великий русский математик Пафнутий Львович Чебышев в ряде статей заложил основы синтеза рычажных механизмов для точного и приближенного преобразования движения. Среди многих изобретенных им механизмов был и первый шагающий механизм. С этого времени начинается быстрое развитие рычажных механизмов: к концу века они насчитываются уже сотнями.

Все рычажные механизмы состоят из рычагов — звеньев, сочлененных между собой шарнирами, кинематическими парами. Правда, в механизмах этого типа шарнир встречается не только в «чистом» виде, но и в виде ползунка, поступательно движущегося по прямой линии звена (например, поршня). Но поскольку движение по прямой линии равнозначно движению по окружности бесконечно большого радиуса, то и этот случай можно рассматривать как движение шарнира (точнее, отрезка шарнира). И шарнир, и сферический шарнир встречаются как в строении органов человека и животных, так и в структуре механизмов. Можно найти некоторую аналогию и для движения ползунка: очень многие технологические операции, выполняемые вручную, включают поступательное движение по прямой, некоторые из них имеют чрезвычайно древнее происхождение, например строгание дерева. Но развитие рычажных механизмов пошло в сторону умножения числа звеньев и кинематических пар, ведь изучались в основном замкнутые кинематические цепи, а разомкнутые цепи привлекли внимание лишь во второй половине XX в.

Нужно отметить еще одно важное положение, которое относится не только к рычажным механизмам, но и ко всем другим: в первом приближении звенья считаются абсолютно жесткими и неизменяемыми, неизменными считаются и расстояния между центрами шарниров. На самом же деле все обстоит не так. Механизмы сооружаются из реальных материалов, поэтому звенья имеют большую или меньшую упругость, а в результате износа размеры их меняются. Как бы точно мы ни старались выполнить их размеры, абсолютная точность остается недостижимой. Благодаря

трению, которое обязательно возникает во время относительного движения звеньев, меняются размеры самой кинематической пары и зазор в ней растет. Все это приводит к определенному искажению формы движения, и инженер, проектирующий механизм, должен учесть все эти обстоятельства.

Может случиться, что одно звено связано не с одним звеном, а с несколькими. В этом случае считается, что существует не одна кинематическая пара, а несколько, по числу подсоединенных к исходному звену звеньев.

Как мы увидим далее, рычажные механизмы имеют очень важное значение при анализе и синтезе любых механизмов, поэтому на этот вид механизмов обращают особенное внимание.

Фрикционные механизмы. Далее мы рассмотрим другой вид механизмов, а именно механизмы, основанные на принципе колеса. Сюда относятся фрикционные, зубчатые и кулачковые механизмы (кроме того, колесо входит в состав и иных групп механизмов).

Использование вращательного движения человеком начинается относительно поздно. Вероятно, древнейшие постройки вынудили человека при транспортировке тяжелых глыб камня использовать бревна, очищенные от веток, в качестве катков. Произошло это между IV и X тысячелетиями до н. э., причем это изобретение, равно как и многие другие, принадлежало разным племенам и народам и относится поэтому к разным временам.

Колесо появляется не ранее этого времени. Сперва колеса для повозок представляли из себя деревянные диски, жестко насаженные на ось. Можно сказать, что они были прообразом фрикционного механизма, который служит для передачи движения за счет сил трения между его звеньями. Очевидно, ремесленник имел уже в своем распоряжении металлическую пилу, с помощью которой он и выделывал из ствола диски — колеса. Спустя тысячелетие было изобретено колесо со ступицей, насаживающееся на неподвижную ось. Несколько позже появились колеса со спицами. Это дало возможность создать боевую колесницу с колесами большого диаметра. Почти одновременно с появлением повозки на колесах с небольшим опоз-

данием появляется гончарный круг, в начале I тысячелетия до н. э. появляются блоки и в середине того же тысячелетия — полиспасты. Изобретение этих подъемных приспособлений знаменовало также расширение функций колеса и создание на его базе новой группы механизмов с гибкими звеньями (впрочем, об этом речь пойдет ниже).

Зубчатые механизмы. Со временем изобретения мукомольных мельниц — первых машин в истории человечества, связано появление зубчатого колеса как важнейшего элемента многих механизмов. Первые передачи этого типа были цевочными — зубья произвольной формы врезались в обод. Позже зубья стали вырезать вручную из тела заготовки — деревянного или металлического диска. На рубеже новой эры механики знали о зубчатых колесах довольно много. Так, уже были известными сложные зубчатые механизмы — редукторы, включающие несколько пар зубчатых колес и червячную пару. Естественно, что никакой разницы между обычным и «червячным» колесом пока еще не замечали.

Как уже говорилось, использование водоподъемного колеса не ограничивалось только первоначальной задачей. Оно не только служило двигателем для мукомольных мельниц, но и приобрело новое качество универсального промышленного двигателя. В связи с этим усложняются системы передач и создаются новые. Так, в частности, возник кулачковый механизм, основной деталью которого остается все то же колесо, но с единственным зубцом — кулачком. Так создается привод мельниц, механизмы которых работают ударным действием, как, например, различные толчеи, кузнечные молоты и т. п.

Кулачковый механизм сохраняет свои элементарные формы на протяжении пяти веков — с XIV по XVIII в. Объясняется это тем, что скорости движения машин, в состав которых входил этот механизм, были крайне малыми и кулак, сделанный в полном смысле этого слова «из-под топора», функционировал вполне удовлетворительно.

Таким образом, технологические установки того времени, мельницы имели, как правило, деревянные зуб-

чатые и кулачковые приводы. Но после того как семейство машин и механизмов пополнилось механическими часами, происходит быстрое развитие зубчатых механизмов. Мы видели, что уже в античные времена были известны редуктор и червячная передача. Последняя, по всей видимости, была изобретена еще Архимедом, а усовершенствована Леонардо да Винчи, который понял ее недостаток. Дело в том, что при уменьшении хода нарезка становилась слишком тонкой и непрочной и не могла выдерживать больших нагрузок. Ученый решил эту инженерную задачу, сделав нарезку очень крутой, в результате чего давление распределялось между несколькими ходами. Таким образом, получились два решения проблемы — вводилась червячная передача, состоящая из червяка-винта и червячного колеса, наклон нарезки которого соответствовал наклону червячной нарезки. Вторым решением той же задачи стало введение пары винтовых колес.

Часовые мастера очень скоро заметили, что от качества зубчатых колес зависит и точность хода часов, и длительность их службы: не удивительно, что в XVI в. часы больше времени проводили у часовщиков, чем у хозяина. Изобретение маятниковых часов еще больше обострило эту проблему, оказалось, что форма зубьев играет важнейшую роль в зацеплении. Нужно было найти такие кривые, согласно которым колеса могли бы катиться друг по другу с минимальным трением. Пришлось прибегнуть к помощи геометрии, и в конце XVII в. замечательный голландский ученый Христиан Гюйгенс, а также французские геометры Жирар Дезарг и Филипп де Лагир пришли к выводу, что зубья колес следует профилировать по циклоидальным кривым.

Пусть окружность катится без скольжения по прямой линии. Тогда любая точка, жестко связанная с окружностью, опишет кривую, называемую циклоидой. Если та же окружность катится без скольжения по внешней стороне другой окружности, то любая ее точка опишет эпициклоиду. Если же меньшая окружность находится внутри большей и катится по ее внутренней стороне, то кривая, описанная произвольной ее точкой, будет называться гипоциклоидой.

При построении зубчатого зацепления соблюдается условие, что начальные окружности катятся друг по другу без скольжения. Начальные окружности делятся на целое число шагов каждая, а зубья строятся таким образом, чтобы часть зуба оказывалась выше начальной окружности, а другая ниже ее. Первая часть называется головкой зуба, а вторая — ее ножкой. Рабочие стороны — профили головки и ножки — строятся по циклоидальным кривым.

Такое зацепление оказалось весьма удобным для часовых механизмов, где сохраняется неизменное расстояние между осями двух зацепляющихся колес: вспомним, что часы изготавливаются на «таком-то количестве камней», при этом чем больше «камней», тем лучше. Камнями в часовых механизмах называются каменные подшипники для вращающихся осей колес. Это же циклоидальное зацепление в XVIII в. и в первой половине XIX в. применялось при построении машин. Но оказалось, что здесь циклоидальное зацепление не совсем пригодно. Дело в том, что вследствие трения срабатываются детали, расстояние между центрами колес изменяется и колеса перестают правильно зацепляться друг с другом: постепенно происходит срабатывание колес, увеличиваются зазоры между зубьями и колеса выходят из строя. Не случайно к этому времени ученые разработали другой тип зацепления. Предложил его великий математик Леонард Эйлер.

Только что мы катили окружность по прямой линии. Теперь выполним обратную операцию: прокатим прямую линию по окружности. Эту операцию можно воспроизвести следующим образом: прикрепим карандаш к кончику нитки, намотанной на катушке, и будем сматывать нить, сохраняя ее в натянутом состоянии. Тогда кончик карандаша вычертит на бумаге кривую линию, которая называется разверткой круга, или эвольвентой.

Как оказалось, эвольвентное зацепление при построении машин имеет существенное преимущество перед циклоидальным: оно допускает колебания в расстоянии между центрами обоих зацепляющихся колес, не нарушая при этом правильности зацепления. Это стало очень важным при переходе от индивидуального построения машин к серийному, а затем и к массово-

му. Получившиеся при этом отклонения в размерах не нарушали правильности хода машины.

Вместе с развитием машин убыстряется и развитие зубчатых механизмов. Подобно тому как в животном мире развитие органов направляется к совершенствованию их в том отношении, чтобы они могли наилучшим образом выполнять свои функции, развиваются и совершенствуются и механизмы машин. Существенное различие заключается в том, что в животном мире развитие происходит весьма длительное время и оно является следствием изменения условий жизни данного вида, тогда как в развитии органов машин проявилась целенаправленность их изобретателей.

Зубчатые механизмы на протяжении своего двухтысячелетнего существования были известны техникам в целом ряде вариантов, число которых росло. Однако никакой попытки установить какие-либо связи между отдельными вариантами не производилось. Даже в курсе построения машин Ланца и Бетанкура, по существу, первом учебнике теории механизмов, зубчатые механизмы появляются в различных разделах классификационной таблицы. Этой же непоследовательности в классификации придерживался и Роберт Виллис, который внес в систему механизмов определенный порядок. В середине прошлого века он сформулировал и доказал основную теорему зацепления — общий закон, устанавливающий связь между скоростями вращения колес и их параметрами. Этот закон утверждает, что нормаль в точке зацепления двух колес делит линию центров на части, обратно пропорциональные угловым скоростям. Тогда же была издана книга французского ученого Теодора Оливье «Геометрическая теория зацеплений», в которой он показал, что правильно зацепляться могут колеса при любом расположении осей вращения. В качестве общего способа получения зацеплений любого вида был предложен способ огибающих поверхностей. Наиболее существенным было то, что здесь были введены пространственные зацепления.

При непрерывном совершенствовании зубчатых механизмов увеличивается их ассортимент, повышается точность изготовления зубчатых колес. Сочетание двух колес уже образует механизм, но с помощью одной такой пары можно только в небольшой степени сни-

зить угловую скорость вращения или, наоборот, увеличить ее. Но развивающееся машиностроение требовало устранения подобного недостатка, и на протяжении века происходит развитие специальных агрегатов-редукторов, предназначенных для этой цели. В сущности, редукторы в своей элементарной форме существовали и раньше. Уже в I в. был известен многоступенчатый редуктор, включавший и червячную передачу. Известна была и винтовая передача — кинематическая пара винт — гайка. Коническая передача — передача вращения между двумя осями, расположенными перпендикулярно одна относительно другой, была известна и значительно раньше: она являлась главным передаточным механизмом водяной мельницы. Самая последняя из «классических» систем зубчатых колес — планетарная передача — была изобретена в XVIII в. в целях преобразования поступательного движения поршня паровой машины во вращательное движение шкива.

Мы видели, что уже в XVII—XVIII вв. ученые нашли методы профилирования зубчатых колес. Несмотря на это, еще больше столетия после исследований Эйлера в этом направлении пары колес выполнялись индивидуально, и для замены изношенного колеса его следовало выполнять «по месту».

По словам Чебышева, делая различные предположения относительно вида зуба одного колеса, можно было найти бесчисленное множество различных видоизменений зубчатых колес, но из всех этих видоизменений на практике употреблялись очень немногие.

Таким образом, несмотря на то что вопрос о профилировании зубчатых колес был уже давно решен в трудах механиков, практики все еще не вполне представляли себе его сущность. Объясняется это тем, что значительная часть продукции машиностроительных заводов все еще была занята индивидуальным производством машин по заказам и колеса не были стандартизированы: заводы и не были заинтересованы в этом, они не хотели терять заказов на производство запасных частей для поставленных ими ранее машин. Однако вскоре уже возрос спрос на серийную и массовую продукцию. Понятие зубчатого зацепления первоначально применялось лишь для обозначения числа зубьев колес.

В последней четверти прошлого века производство колес полностью переходит на научную основу: колеса стандартизируются, и возникает возможность заменять изношенные колеса соответствующими запасными колесами. Постоянно развивается и совершенствуется ассортимент колес, и для того чтобы удовлетворить всевозрастающим требованиям машиностроения, изобретаются новые типы колес, имеющие более совершенные механические характеристики.

Как мы уже говорили, подавляющее большинство колес профилируются по эвольвенте, и в сущности, в этом отношении единственным путем улучшения их качества было совершенствование их механической обработки и износоустойчивости. Лишь в середине XX в. советский ученый М. Л. Новиков изобрел новый тип зацепления, получив на него авторское свидетельство. Тем самым был предложен принципиально новый класс пространственных зацеплений с точечным контактом для передачи с различным взаимным положением осей обоих зацепляющихся колес.

Но подобно тому как кости человеческого скелета служат человеку не по одиночке, но в сочетаниях, сочленяясь попарно, точно так же и зубчатые колеса (равно как и все прочие звенья механизмов) не имеют самостоятельного бытия и лишь в паре образуют механизм. Поэтому и вся история зубчатых зацеплений, начавшаяся в середине первого тысячелетия до нашей эры, — это история зубчатых механизмов. Начиная от элементарных сочленений двух колес, как это было в древнейших водяных мельницах и лебедках, сочленения колес умножаются: уже в первом веке нашей эры известно несколько типов развитых редукторов. Сейчас описано около семисот зубчатых механизмов. При этом все чаще появляются новые типы механизмов, в которых комбинируются не только зубчатые сочленения, но и зубчатые с рычажными, с винтовыми и другими типами механизмов.

Кулачковые механизмы. Как уже говорилось, кулачковые механизмы сходны с зубчатыми, т. е. их можно рассматривать как зубчатые колеса с одним зубом в сочетании с обычным зубчатым колесом. Такие механизмы и существуют в действительности, их применяли в некоторых типах вычислительных машин. Все же ос-

новная схема кулачкового механизма — это вращающееся звено, кулачок и второе звено, приводимое в движение кулачком, которое или движется поступательно по прямой линии между двумя крайними точками, или закреплено в одной точке и качается около нее, описывая дугу.

Особенное развитие получили кулачковые механизмы, когда появились технологические мельницы. Если в случае обычных мукомольных мельниц вращательное движение водяного колеса при помощи несложной передачи преобразовывалось во вращательное движение жернова, то теперь задача усложняется, поскольку вращательное движение надо преобразовать в поступательное. Это достигается следующим образом: к вращаемуся деревянному валу крепится деревянный же кулак, который на протяжении части своего оборота входит в зацепление с другим кулаком, прикрепленным к вертикально движущемуся штоку. Когда оба кулака входят в зацепление, шток поднимается на определенную высоту, а затем при разрыве зацепления падает, а прикрепленный к нему боек производит технологическую операцию. Так работает мельница-толчея для производства пороха, бумаги, крупы. Несколько по-другому работает кузнечный молот, «рукоятка» которого посажена на ось, закрепленную в подшипниках, и опускается кулаком. При этом боек, посаженный на противоположный конец рукоятки, поднимается на определенную высоту и падает, когда кулак выходит из зацепления с рукояткой.

Существовало еще несколько схем кулачковых механизмов, соответствующих технологическим операциям, для производства которых были устроены разного типа мельницы. В некоторых случаях от одного водяного или ветряного двигателя колеса приводилось в движение несколько технологических установок. В этом случае вводились промежуточные механизмы распределения.

Изобретение двигателя внутреннего сгорания и необходимость обеспечить точную последовательность тактов работы двигателя вызвали необходимость решить задачу газораспределения с помощью кулачкового механизма. Кулачковый механизм прошлого века уже лишь отдаленно напоминает своего многовекового

предшественника: большие скорости двигателя требуют точности от всех составляющих его звеньев, в особенности от формы рабочей поверхности кулачка, его профиля. В дальнейшем такой механизм становится одним из ведущих при создании машин автоматического действия: отдельные операции выполняются при помощи кулачковых механизмов, действующих в соответствии с так называемой циклограммой, т. е. законом движения ведомого звена.

Несмотря на различия в применении кулачковых механизмов, их схема, в сущности, остается все той же, которая была выработана на протяжении веков: ведущее звено — кулачок, вращающийся около своей оси, приводит в движение ведомое звено, или движущееся по прямой линии, или качающееся около некоторой оси. Теоретически можно при помощи кулачкового механизма осуществить самые различные законы движения, однако на практике не все они оказываются одинаково приемлемыми: пользуются лишь теми из них, которые обеспечивают более простую технологию обработки профиля кулачка и удовлетворяют всем требованиям к построению механизма.

Как правило, движение ведомого звена механизма (толкателя или коромысла) соответствует четырем фазам: его подъему, так называемому выстою в верхнем положении, спуску, выстою в нижнем положении (оба выстоя или один из них могут и отсутствовать). Профиль кулачка выполняется в соответствии с этими фазами. При выстоях ведущее звено в течение некоторого угла поворота кулачка остается неподвижным. Следовательно, соответствующий участок профиля описывается дугой окружности. Профили же подъема и спуска выполняются по некоторым кривым, которые должны плавно переходить в участки выстоев. В противном случае ведомое звено, а следовательно, и выполняемая им технологическая операция будут испытывать удары, что, вообще говоря, недопустимо.

Иногда технологическая операция предполагает выстой некоторой длительности в одном положении, а затем передвижение с большой скоростью в следующее положение. Для этого был изобретен простейший механизм, так называемый мальтийский крест, который состоит из крестообразной основы с равномерно распо-

ложенными радикальными пазами, кривошипа с пальцем и неподвижного звена, обязательного для каждого механизма. При вращении кривошипа палец входит в паз креста и поворачивает его на угол, обусловленный заданной схемой. После выхода пальца из паза крест останавливается до тех пор, пока палец не начнет входить в следующий паз, тогда движение возобновляется. Тем самым обеспечивается прерывистый характер движения ведомого звена.

В качестве примера можно привести обработку деталей на многошпиндельных автоматах одновременно в нескольких позициях, число которых равно числу шпинделей. Все это дает возможность обрабатывать сложные детали путем совмещения переходов операций, при этом обеспечивается высокая производительность обработки. Естественно, что все это можно было сделать и с помощью кулачкового механизма, однако механизм мальтийского креста оказывается более простым, более надежным и долговечным в работе. Поэтому в некоторых случаях такой механизм просто незаменим.

Существует много вариантов мальтийского креста: он выполняется с внутренним и внешним зацеплением, с различным числом и расположением пазов, что, естественно, зависит от выполняемой механизмом операции (наименьшее число пазов равно трем). На практике применяют кресты с числом пазов, равным 4, 6, 8; наибольшим числом пазов считается 15. Как выяснено, кресты внутреннего зацепления имеют некоторые преимущества по сравнению с крестами внешнего зацепления.

Совершенствование мальтийского креста было определено развитием кинотехники и некоторых классов машин-орудий. В процессе применения этого механизма он видоизменяется, приспосабливается к новым технологическим условиям и приобретает новую форму.

Мы рассмотрели, таким образом, наиболее значительную группу механизмов, преобразующих вращательное движение во вращательное непрерывное, во вращательное с остановками, в возвратно-поступательное. Их далеким «предком» было, очевидно, очищенное от веток дерево, при помощи которого облегчался перенос грузов. Таким образом, форма вращающегося

тела была заимствована у природы и затем подвергнута дополнительным изменениям для выполнения определенной работы. Так возникает новое пополнение движений, возможных для человека, новый орган, который, развиваясь, порождает механизмы, описанные выше.

Гибкие передачи. Во второй половине первого тысячелетия до нашей эры появляется еще один механизм, прообразом которого является простой блок, известный еще ассирийцам. Блок порождает полиспаст. А отсюда уже недалеко до гибкого привода, когда вращение передается между осями, расположенными на некотором расстоянии друг от друга. Гибкий элемент в простейшем случае является бесконечной нитью, направления нитей могут пересекаться, и в этом случае диски, которым передается движение, вращаются в противоположном направлении. В более сложных случаях можно получить с помощью гибкой передачи и различные виды возвратно-поступательного движения.

Средневековая техника пользуется различными типами бесконечной передачи, а когда интерес к машинам возрос в значительной степени, она уже применялась довольно часто, причем не только отдельно, но и в сочетании с другими типами передач, например с зубчаткой. Так, Джероламо Кардано применил перекрещивающуюся гибкую передачу в сочетании с зубчатым механизмом, причем учел и то обстоятельство, что в перекрещивающейся передаче угол обхвата шкива канатом больше, чем в обычной, а следовательно, больше и трение, а это позволяло избежать или, точнее, уменьшить проскальзывание.

Мы уже упоминали труды жившего в Саксонии профессора греческого языка Георга Бауэра. Фамилия его, очевидно, намекала на его крестьянское происхождение («бауэр», по-немецки, — «крестьянин»), и поэтому он пользовался ее латинским переводом (Агрикола), что, впрочем, означало то же самое. По-видимому, греческий язык был ему не по душе, он оставил преподавание и начал изучать медицину, а затем минералогию и горное дело. Он написал несколько книг, из которых важное значение получило его сочинение «Горняк или о металлических делах», в котором он досконально изложил технологию горного дела и опи-

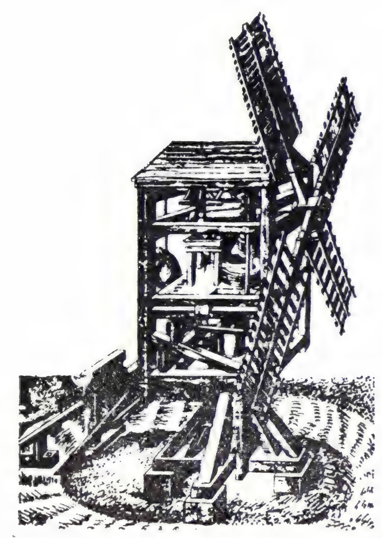
сал грузоподъемные машины, которые тогда применялись. Среди других он описывает и гибкие передачи. Так, в горном деле зачастую надо передать движение с верхнего горизонта на нижний, для этого пользовались цепной передачей, которая в условии рудника надежнее и долговечнее канатной. Использовались также разомкнутые гибкие передачи, цепные и канатные, применявшиеся в подъемных кранах.

С течением времени применение гибких передач расширялось: ими стали пользоваться для привода токарных станков, в текстильных станках, в некоторых технологических установках. Особенно много различных гибких приводов, причем самого различного назначения, показано в книге Агостино Рамелли «Различные и искусные машины», которая многократно переиздавалась и много послужила инженерам прошлых веков. Как уже говорилось, сам Рамелли был военным инженером. Можно предполагать, что он был учеником Леонардо да Винчи. Во всяком случае он стал его преемником в качестве военного инженера французского короля. У всех машин, описанных в упомянутой книге, есть одна общая черта: они чрезвычайно сложны, что не всегда обусловлено необходимостью. Но это не мешает им быть правильно построенными, и конечно, инженеры того времени зачастую воспроизводили не форму, а принципы построения машины, придавая ей форму по своему усмотрению. Кроме того, приходилось учитывать возможности построения машин, которые в те годы были невелики, и потому вместо одной машины большой мощности нередко устанавливали несколько машин малой мощности. Тем большее значение имели механизмы привода, передачи движения, в частности, цепная передача в различных, порой самых неожиданных формах. Так, при передаче качания одного балансира на другой, ведомый, балансир преобразовывается в ролик, и вокруг него и второго ролика, связанного с приводимым рычагом, прокладывается бесконечная цепь. Встречается в книге разомкнутая канатная передача для передачи вращения с одного барабана на другой.

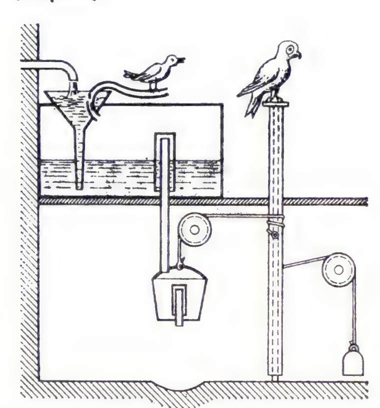
Гибкая передача конструируется в предположении, что между гибким элементом и блоком или барабаном возникает сила трения, которая не дает возможности

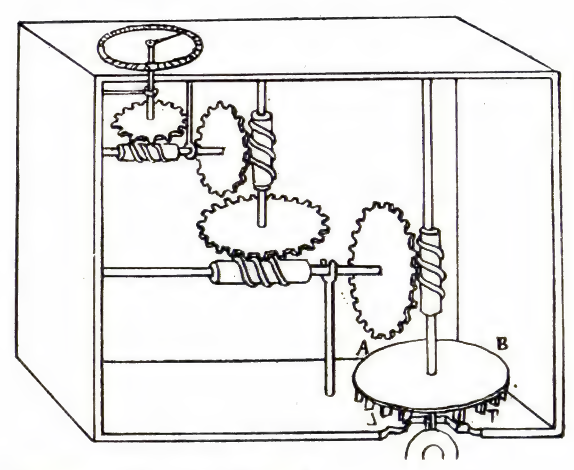
Водяная мельница

Ветряная мельница



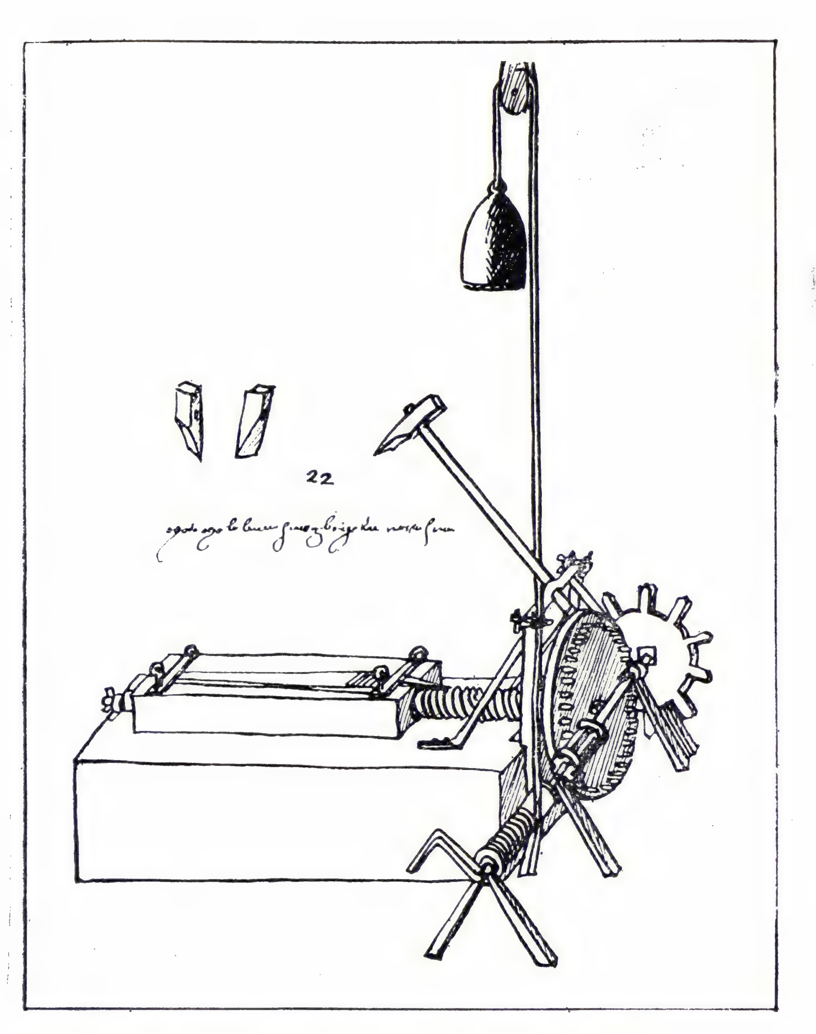
Гидравлическая машина
(Герон)



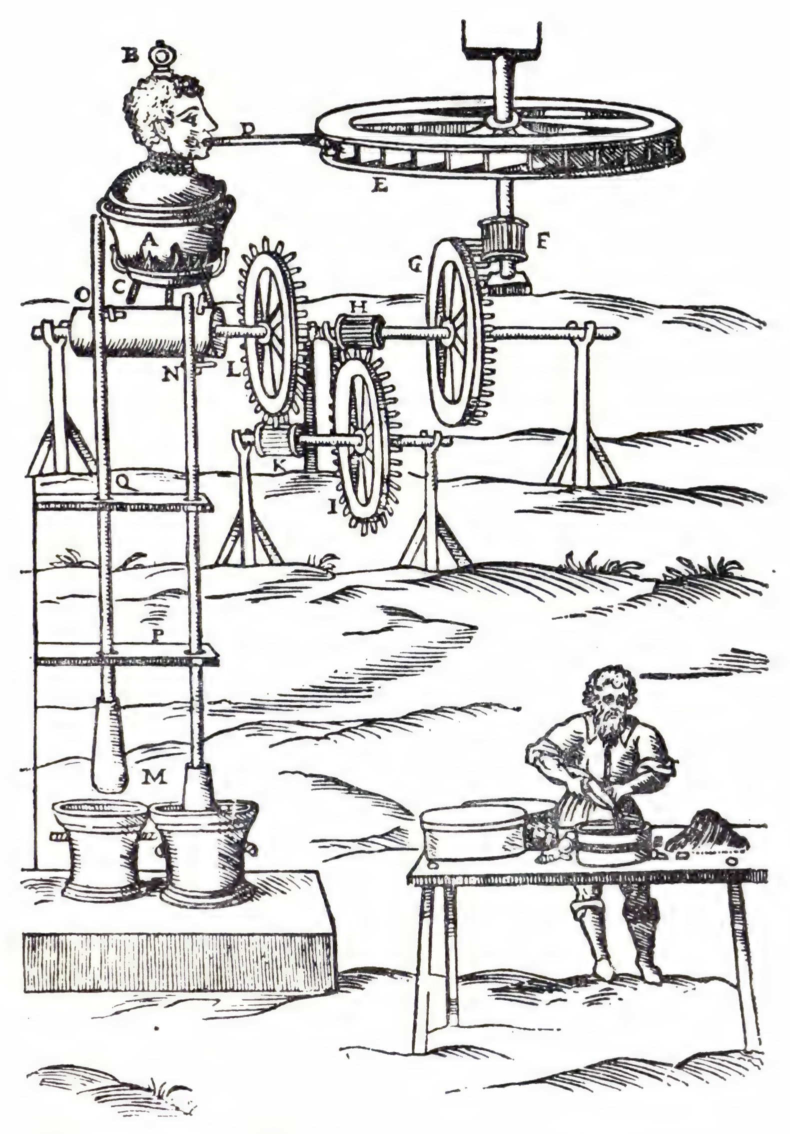


Счетчик оборотов (Герон)

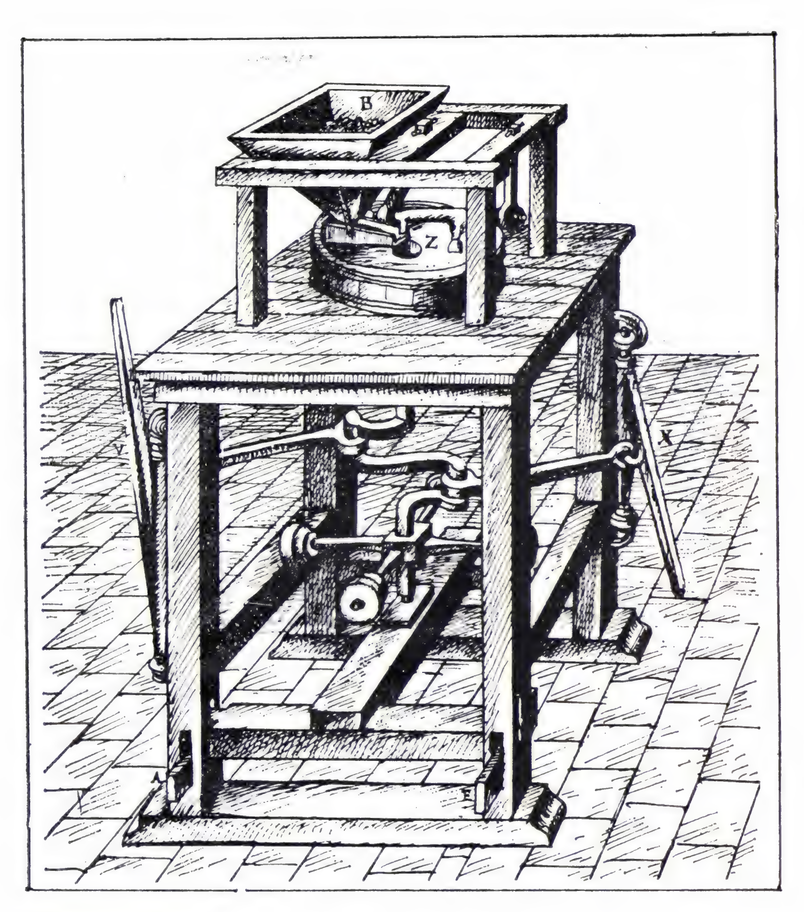
Проект экскаватора (Леонардо да Винчи)



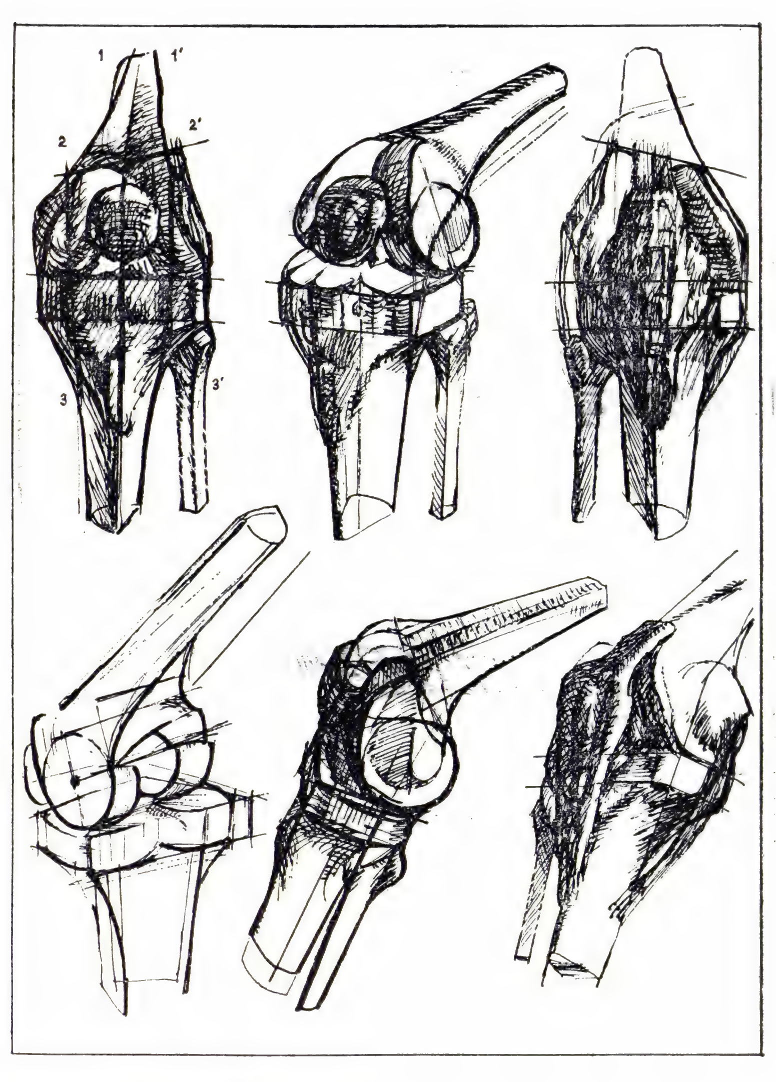
Машина для насечки напильников (Леонардо да Винчи)



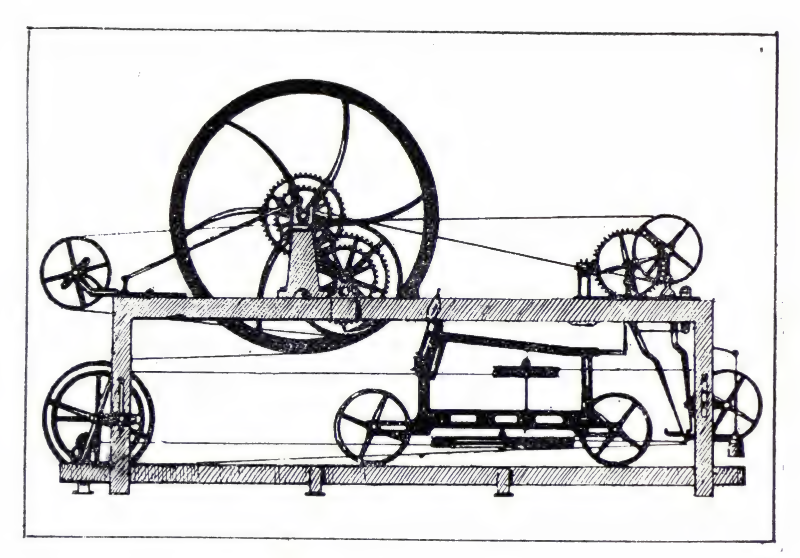
Зубчатая передача (XVII в.)



Коленчатый вал

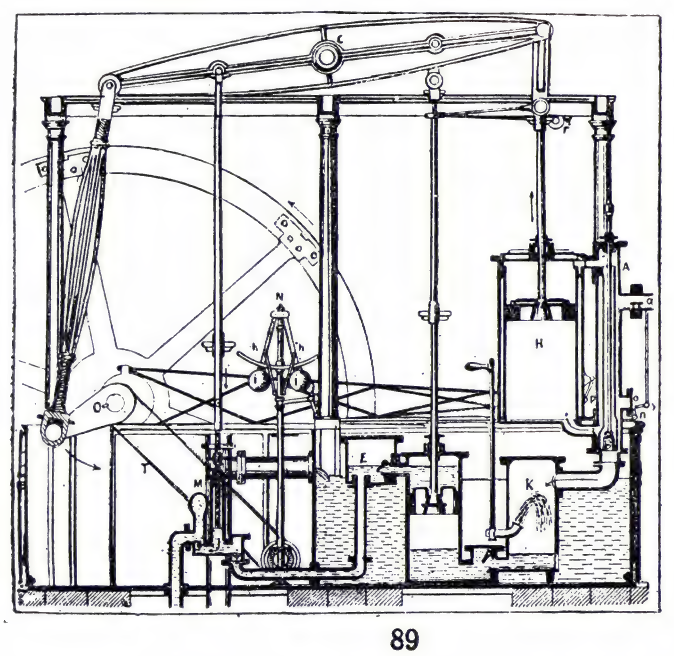


Модель сустава руки человека



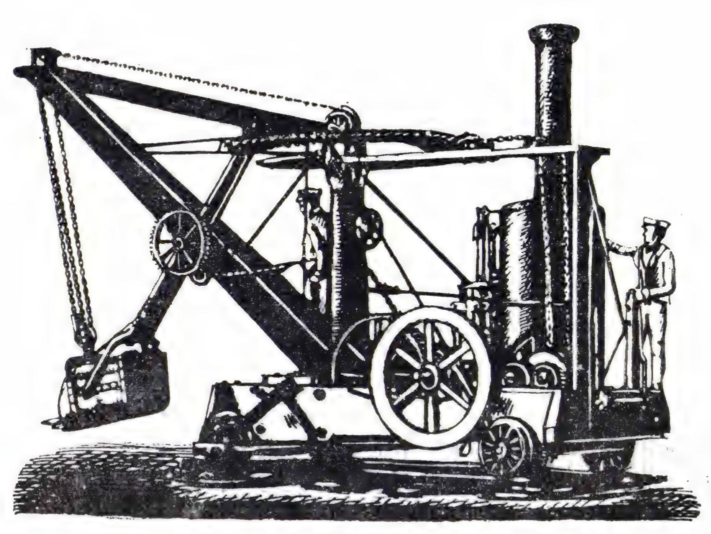
Прядильная машина (Кромптон)

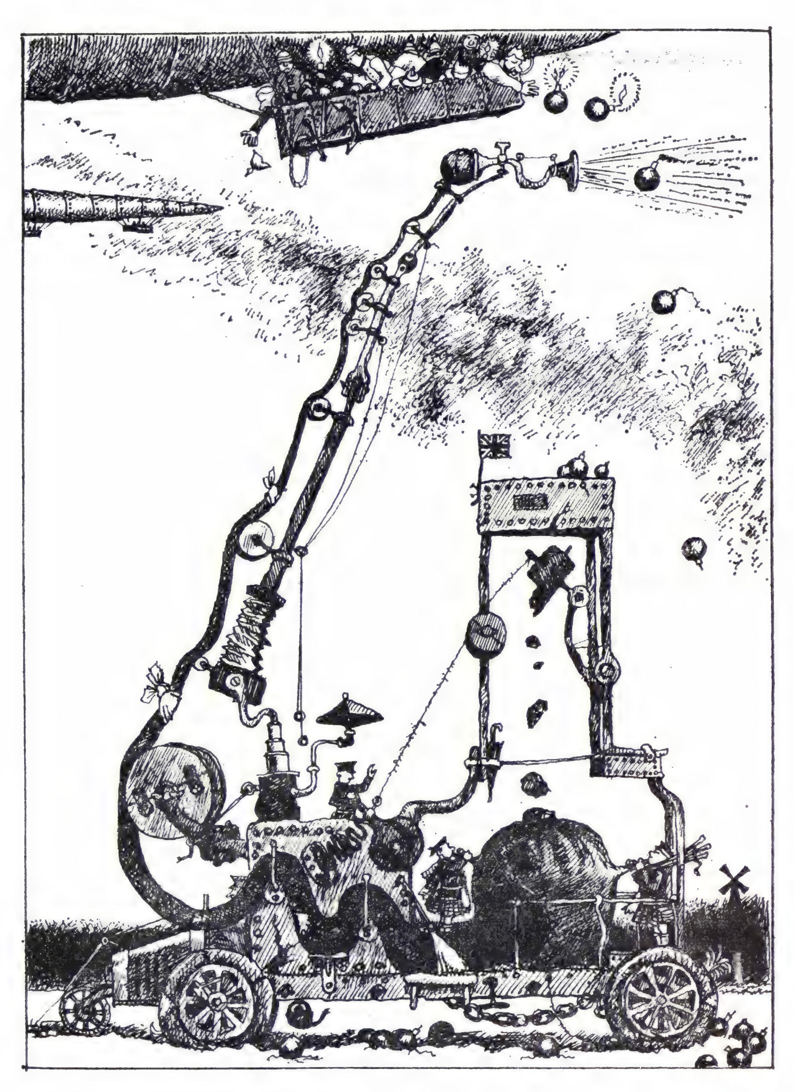
Паровая машина (Уатт)



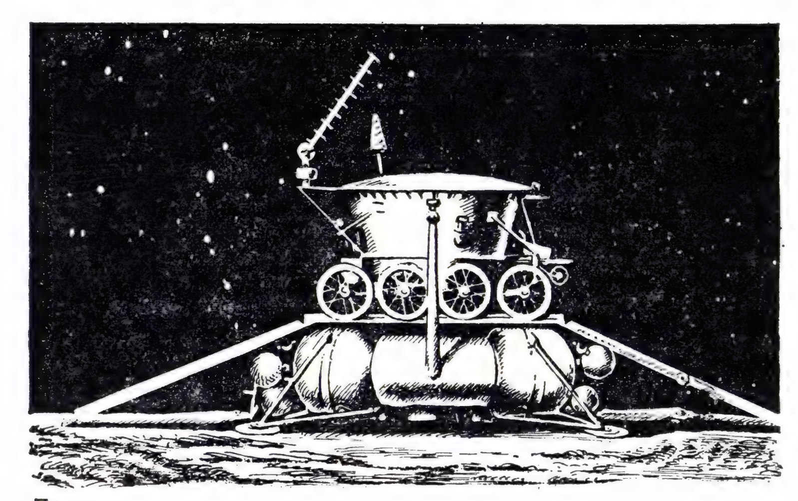
Землечерпалка-экскаватор (Бетанкур)

Экскаватор





"Тушитель бомб" (Робинсон)



Луноход

Промышленный робот

гибкому элементу проскальзывать. Два века назад этой проблемой заинтересовался Леонард Эйлер, который вывел известную формулу, связывающую полезную нагрузку и угол охвата барабана гибким элементом. Эта формула значительно облегчила инженерам построение гибких передач. Не говоря уже о том, что с самого начала прошлого века несущим элементом мостов становятся канаты или цепи, т. е. значение гибких передач в машиностроении быстро растет. Если мы будем рассматривать изображение какого-либо цеха того времени, то сразу же бросится в глаза то, что все свободное пространство цеха перегружено ременными передачами: энергия, получаемая от паровой машины, распределялась между несколькими длинными валами, на которые были насажены шкивы. Через последние перекидывалась ременная передача, приводившая в движение отдельные станки. В качестве примера можно привести знаменитую картину Адольфа фон Менцеля «Железопрокатный завод» (1875). Естественно, что с точки зрения безопасности цехи прошлого века оставляли желать лучшего, что и было достигнуто уже в следующем столетии с помощью индивидуального электропривода.

В целом максимум применения гибких передач падает на XIX в. Однако это не значит, что в XX в. от них отказались: они были усовершенствованы, получили новую форму и в виде клиноременных передач, вариаторов и других механизмов; продолжают служить машиностроению в том числе и многочисленные виды разомкнутой гибкой передачи, применяемой в подъемных кранах, экскаваторах и других подобных машинах.

Таким образом, гибкие элементы обеспечивают передачу и преобразование движения между двумя частями машин, которые не соприкасаются между собой, причем необходимое условие успешной работы таких механизмов — наличие трения, исключающего возможность проскальзывания. Но есть целая группа механизмов и таких, в которых трение является условием работы двух или нескольких соприкасающихся частей машин. Такие механизмы, как уже говорилось, называются фрикционными. К самым простым из них, правда, имеющим малое применение в машиностроении, относится передача движения между двумя дисками,

вращающимися около параллельных осей и прижимаемыми друг к другу некоторой силой. Вследствие этого между дисками возникает трение, и вращение одного из дисков повлечет за собой вращение другого в противоположном направлении.

Такого типа движение, по существу, было прообразом зубчатого зацепления: если присоединить к двум окружностям зубья и покатить одну окружность по другой, то они и образуют те две окружности, которые были названы вначале. Есть и другие виды фрикционных передач, которые нельзя заменить соответствующими механическими, так как в них необходимо сохранить возможность проскальзывания. Таковы, например, фрикционные передачи, применяемые в конструкциях автомашин и других транспортных средств: они предохраняют машину от возможной поломки и в то же время обеспечивают точную передачу движения.

Иногда нужно регулировать передаточное число механизма. Этого тоже можно достичь при помощи фрикционной передачи. Представим себе конус, вращающийся около своей оси. На образующую этого конуса нажимает каточек, вращающийся вокруг оси, параллельной образующей конуса. Каточек может двигаться вдоль своей оси; таким образом, по мере передвижения каточка передаточное отношение изменяется.

Основной недостаток фрикционных механизмов — неспособность передавать значительные мощности. Это затруднение было преодолено в так называемой передаче Мехварта. В этом случае два катка, ведущий и ведомый, устанавливаются внутри упругого стального закаленного кольца, а между ними с некоторым напряжением вставляется вспомогательный ролик. Под влиянием трения вращения ведущего катка охватывающее кольцо слегка поднимается вверх и заклинивает все три катка, которые оказываются теперь расположенными не по диаметру, а по хорде кольца: с помощью этого механизма оказывается возможным передавать даже значительные мощности.

Винтовые механизмы. Предполагается, что первый механизм изобрел великий древнегреческий математик и механик Архимед. В простейшей форме этот меха-

низм состоит из двух звеньев — винта и гайки. Одним из первых его применений стал известный римлянам винтовой пресс, служивший для получения оливкового масла, а иногда и вина. Изготовление двух основных деталей винтового механизма сперва было очень сложным делом, и только изобретение токарного станка дало возможность изготовлять винты и гайки правильной формы. Вероятно, поэтому на протяжении многих столетий этот механизм не пользовался популярностью, пока не было найдено новое применение винта в устройствах для подъема тяжестей и в домкратах. При строительстве зданий и судов такие грузоподъемные устройства использовались в тех случаях, когда не помогали обычные краны.

По-видимому, Архимед же заменил в зубчатой передаче одно из колес винтом и тем самым создал так называемую червячную передачу. По-иному использовался винт в водоподъемных машинах, где длительное время не претерпевал никаких изменений. Только в XVI в. французский механик Жак Бессон построил горизонтальное водяное колесо для привода мельницы, снабдив его винтообразно изогнутыми лопастями. Прошло еще почти триста лет, и винт был применен для приведения в движение парохода. Затем начиная со второй трети прошлого века винт используется для профилирования лопаток турбин. Так старое изобретение нашло себе новое применение.

Гидравлические и пневматические механизмы. Через винт мы подходим к еще одной группе механизмов — к гидравлическим и пневматическим передачам. Представим себе центробежный насос, который в процессе своего вращения нагнетает жидкость по трубе в гидравлический двигатель, откуда по другой трубе жидкость возвращается в насос. Тем самым поддерживается непрерывный процесс, в котором жидкость служит звеном, передающим движение с тем же числом оборотов, что и у ведущего звена — ротора центробежного насоса. Если же на трубе, ведущей от насоса к двигателю, поставить тройниковый кран, с помощью которого лишь часть жидкости пойдет в двигатель, а другая ее часть от крана через соединительный патрубок направится в трубу отработанной жидкости, то краном можно плавно регулировать скорость двигате-

ля, и мы получаем простейший гидравлический редуктор.

Гидравлические механизмы имеют целый ряд преимуществ перед механическим и сейчас широко применяются в технике. Значительное распространение получили и пневматические механизмы, действующие сжатым воздухом. В некоторых случаях, например в угольных шахтах, т. е. там, где применение электроэнергии может быть опасным, роль пневматики оказывается чрезвычайно важной.

Гидравлические и пневматические механизмы известны с античных времен. Более того, силу воды и ветра человек испытывал едва ли не с самых ранних времен своего существования. Вода и ветер были одними из тех сил природы, к которым людям пришлось длительные столетия и тысячелетия приспосабливаться, пока они не овладели ими хотя бы в малой степени.

Выше мы говорили о Ктесибии, с именем которого связывают изобретение гидравлических и пневматических механизмов. Можно предполагать, что некоторые сведения о подобных механизмах имелись и ранее, в частности у египетских жрецов. Но они в основном обслуживали храмовые театрализованные представления, тогда как Ктесибий применил их к «делу». Во всяком случае ему принадлежит изобретение кинематической пары: цилиндр — поршень, которую он использовал при построении пожарного насоса и которая с тех пор получила поистине мировое распространение, составляя основной механизм паровой машины, двигателя внутреннего сгорания и многих других.

Много гидравлических и пневматических механизмов описаны в древнегреческих сочинениях. Благодаря великим ученым Средней Азии и Ближнего Востока их описание (зачастую в арабском переводе) попало в Европу и стимулировало интерес к той группе механизмов. Ведь, в сущности, и водяное колесо, и колесо ветряной мельницы можно считать гидравлическими и пневматическими механизмами, если смотреть на них лишь с кинетической точки зрения.

Гидравликой и пневматикой интересовались и механики эпохи Возрождения. Интересно еще одно обстоятельство: когда врачи начали изучать тело животных и человека (что было сопряжено с большим рис-

ком), они обнаружили некое подобие между системой кровеносных сосудов и известными им очень несовершенными гидравлическими системами. В анатомических эскизах Леонардо да Винчи рядом с чертежами сердца и кровообращения художник изобразил схемы гидравлических механизмов. И совершенно несомненно, что теория Рене Декарта, увидевшего в животных лишь высокоорганизованные машины, в основной своей части базировалась на сходстве кровообращения и гидравлического механизма. Интересно, что основоположник гидродинамики петербургский академик Даниил Бернулли одну из своих первых работ посвятил исследованию течения крови в живом организме.

Другие виды механизмов. Мы уже говорили о том, что еще два столетия назад механизмы не отличались особым разнообразием, правда, некоторые из них уже были известны техникам того времени в разных вариантах. Несколько механизмов изобрел куратор Лондонского королевского общества замечательный английский ученый Роберт Гук. Особую известность приобрел изобретенный им шарнир, который позволил управлять телескопом, т. е. направлять его на произвольную точку неба.

В связи со становлением и развитием машиностроения изобретение механизмов для передачи и преобразования движений убыстряется. В особенности этот процесс ускорился в последней четверти прошлого века. Появляются новые виды устройств, включающие механизмы комбинированные (с рычажными и зубчатыми элементами), механизмы движения с остановками, механизмы с упругими звеньями, механизмы переменной структуры и др. В новых механизмах применяются электромагнитные и электронные элементы.

Таким образом, оказалось возможным, получив «движение», передать его в нужном направлении, а если это необходимо, то и преобразовать его так, чтобы выполнить необходимую работу. Тем не менее следует вспомнить, что машина состоит не только из тех механизмов, которые управляют движением: движение нужно еще получить и использовать. Еще Леонард Эйлер установил на основании изучения машин своего времени, что они обязательно должны включать двигатель или приемник, который производит или воспри-

4 7—555

нимает движение и посредством механизмов передает его дальше, к рабочему органу, который и производит необходимую полезную работу.

На протяжении почти двух с половиной тысячелетий вплоть до начала прошлого века основным двигателем было водяное колесо, и лишь в XI в. таковым стала также ветряная мельница. Правда, одновременно с ними роль двигателя доставалась также человеку и животным, но в этом случае следовало бы включить в состав машины не двигатель, а приемник. Другими словами, на протяжении многих лет основой двигателя служил гидравлический или соответственно пневматический механизм.

Как упоминалось выше, рабочий орган, для которого, собственно, и строилась та или иная мельница, находился в соответствии с технологическим процессом. Сперва это были жернова, т. е. мельница выполняла свою первоначальную функцию, затем толчея, пила, молот и т. д. Но все это составляло единое целое, и поэтому мельница первоначально составляла одну машину. Но с течением времени к одному двигателю начали присоединять несколько механических устройств, приводившихся в движение одним валом. Можно ли и в этом случае считать мельницу единой машиной? Представляется, что да. Действительно, если мы рассмотрим какой-либо современный автомат, снабженный несколькими рабочими органами, исполняющими различные операции, то от этого он не становится совокупностью машин. Поэтому мельницы в том виде, в котором они строились механиками прошлых столетий, следует также считать едиными машинами.

Водяные колеса не оставались неизменными. Было замечено, что те колеса, лопатки которых поворачиваются под влиянием потока текущей воды, дают меньшее количество работы, чем те, на которые вода падает сверху (так называемые верхнебойные колеса). В середине XVIII в. английский инженер Джон Смитон изменил во втором случае форму лопаток, придав им форму сосудов, и получил еще большую эффективность. Дальнейшее совершенствование двигателя привело к изобретению турбин, первой из которых была турбина Фурнейрона. Но это произошло уже после выделения двигателя в отдельную машину.

Совершенствовались и ветряные мельницы. Принципиально по своей структуре они не отличаются от водяных мельниц: тот же самый механизм, только повернутый на 180°, колесо наверху, а не внизу. Несмотря на то что ветряные мельницы появились в Европе в конце XII столетия, первые изображения их появились относительно поздно — уже в XVI в. Это не были чертежи, но искусный механик мог по этим изображениям соорудить работающую мельницу. И только в самом начале XVIII в. были опубликованы не только чертежи, но и описание ветряной мельницы, но их строили уж четыреста лет!

Европейская практика выработала два основных типа этих машин: с вращающимся корпусом и башенного типа, когда поворачивалась только «головка» мельницы вместе с крыльями и валом. Как в том, так и в другом случае передача к рабочему органу осуществлялась через зубчатый передаточный механизм, колеса были, как правило, деревянными, а зубья вырубались топором.

Не забудем, что водяные мельницы были привязаны к воде, а ветряные можно было поставить лишь в местах, доступных для ветра. Там же, где не было ни того, ни другого, роль двигателя приходилось выполнять или животным, или самому человеку.

И вот два века назад человек опять столкнулся с той же задачей, которая была решена (в отношении мукомольных мельниц) еще его пращурами прошлых тысячелетий. Новые технологические машины стали улучшенными органами человека, они делали ту же самую работу, что и ремесленник, но лучше и быстрее. Впрочем, вначале, вероятно, не лучше. Но управлять ими, приводить их в движение приходилось самому человеку или животным. По словам Карла Маркса, когда изобретение прядильной машины возвестило о промышленной революции, ее изобретатель ни звуком не обмолвился о том, что осел, а не человек приводит эту машину в движение, и тем не менее эта роль действительно досталась ослу.

Не следует недооценивать роли «живых сил» в развитии промышленной революции: человек далеко не сразу передал «силовую часть» производства машине. Мы видели, что ранее машина заменяла лишь физи-

ческую силу человека. Теперь она заменила его руку, и стало ясно, что физических сил-то и не хватает. Интересно, что в то время когда промышленный переворот завершился в Англии и завершался во Франции, математик и механик академик Шарль Дюпен (ученик Гаспара Монжа) дал сравнительную оценку продуктивных сил обеих стран, приравняв силу одной лошади силе семи человек. Он подсчитал также силы водяных и ветряных мельниц, кроме того, силы паровых машин в промышленности и судоходстве. У него получилось, что к концу первой четверти прошлого века во Франции действовало (округленно) 49 000 сил, а в Англии — 60 000 сил. Как следовало из его расчетов, во-первых, в результате промышленного переворота Англия удвоила свой энергетический потенциал, а Франция лишь на одну треть увеличила его; во-вторых, в сельском хозяйстве оказалось занято более половины производительных сил, в-третьих, эти цифры показали, какая значительная доля промышленного труда (6000—8000 сил) падала на «живые силы». И наконец, из расчетов с очевидностью вытекало, каким колоссальным энергетическим потенциалом становилась паровая машина.

Поиски промышленного двигателя, на который можно было бы возложить существенную часть труда и который к тому же не был бы связан с какой-то определенной местностью, продолжались на протяжении всего XVIII в. Испанец Бласко де Гарай, француз Дени Папен, немец Готфрид Лейбниц, русский Иван Ползунов, англичанин Томас Ньюкомен и много других большей частью безвестных изобретателей старались найти такую машину, которая смогла бы освободить человека от тяжелой и изнурительной работы и обеспечила бы быстрое развитие промышленности. Как известно, честь решения этой задачи выпала на долю Джеймса Уатта, и вскоре изобретенная им паровая машина, вытеснив сначала человека и животных, затем водяные и ветряные двигатели, становится основным поставщиком энергии для промышленности и транспорта.

Модификацией паровой машины явился двигатель внутреннего сгорания. При этом принципиальная схема рабочей части машины не менялась, но в зависимости

от характеристик газообразующего тела менялось все ее оснащение. Следующим шагом стал... возврат к водяному колесу, но уже на новой технической основе, появляются турбины, активная и реактивная, приводимые в движение паром и водой.

В середине XIX в. начинается активное освоение электричества — новой силы природы, которая до тех пор была известна лишь в некоторых своих проявлениях. Внедряются электрические машины — динамо-машины и электродвигатели. Все они основаны на роторном принципе; интересно, что во всех машинах-двигателях используются лишь два принципиальных типа движения — возвратно-поступательное движение, известное еще до нашей эры, и вращательное движение, характерное для водяных и ветряных колес, турбин, электрических машин. Там, где машина заменяет непосредственно физическую силу человека, как оказывается, можно пользоваться самыми простыми из всех возможных типов движения.

Совершенно иное положение с теми машинами, которые заменяют умение человека или, образно говоря, его руку. Здесь можно изобрести бесчисленное множество вариантов, и уже давно изобретатели стремятся воспроизвести движение руки человека или хотя бы получить при помощи механизмов тот же самый результат. Начатые в текстильной промышленности, поиски эти распространились затем и на другие отрасли производства, что привело к созданию современных технологических машин. Одновременно идут поиски человекоподобных машин, которые могли бы выполнять если и не все, то хотя бы некоторые функции человека. Эти поиски оказались безуспешными, но в их результате механики создали целый ряд автоматов: их опыт даже с отрицательным результатом не пропал даром.

Рождается стремление вообще выключить человека из технологического процесса: это стремление вело к созданию машин автоматического действия. Нельзя не вспомнить, что, вероятно, первая такая попытка была сделана на Руси, на Соловецких островах, где соловецкий игумен, а впоследствии московский митрополит Филипп (Федор Степанович Колычев) создал автоматическую систему машин. Было это более чем четыре

века назад. Прошло почти два с половиною столетия, и на Алтае гидротехник Козьма Дмитриевич Фролов создает грандиозную гидросиловую систему, а в США механик и изобретатель Оливер Эванс построил автоматическую мельницу, в которой был автоматизирован весь технологический процесс. В начале прошлого столетия французский механик Жозеф Жаккар построил ткацкий станок, работавший по специальной программе.

Следующий этап в развитии автоматики связан с именем английского математика и экономиста Чарльза Беббиджа, который еще в 30-е годы прошлого века запроектировал аналитическую вычислительную машину, как бы прообраз современных ЭВМ. К сожалению, его идеи не соответствовали техническим возможностям эпохи, и машина «не пошла».

Но проходит еще столетие, возникает и развивается электронная техника, и вычислительные машины становятся реальностью. Одновременно разрабатываются и машины нового типа, которые воспринимают все те идеи, которые были реализованы в механической технике. Постоянно совершенствующиеся машины в годы научно-технической революции приобретают новые качества. В их состав, кроме классических двигателя, передачи и орудия, входят теперь органы управляющие и регулирующие.

Развитие автоматизации влечет за собой создание полностью автоматизированных цехов, в которых некоторые операции выполняют машины автономного действия — роботы и манипуляторы. Таким образом, сам цех превращается в огромную машину, управляемую единым «мозгом», — получается та же «мельница», но уже на новых технических основаниях.

3

ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ СТРУКТУРЫ, или „генетика“ машин



Генетикой в биологии называется наука о законах наследственности и изменчивости, ведущая к пониманию законов рождения новых организмов. Как уже говорилось, по аналогии можно отметить, что произведения рук человеческих, используемых в качестве орудий и инструментов, в определенной степени являются как бы продолжением органов человеческого тела. Микроскоп и телескоп наделяют человека сверхзрением, а самолет — способностью летать. Одежда выполняет некоторые функции защитного покрова, а антибиотики иногда делают то, чего не могут сделать антитела. Счетчик радиоактивного излучения снабжает человека органом чувств, аналога которому у него вообще нет. Назвать подобные инструменты «внешними» органами человека — это не просто привести прихотливую метафору, потому что все сенсорные инструменты действительно передают сведения через наши обычные органы чувств, а все механизмы и машины программируются нами либо во время работы, либо предварительно.

Таким образом, изучая машины и механизмы, мы, очевидно, должны выяснить и те законы, в соответствии с которыми они эволюционируют. Подобную параллель законам генетики мы можем найти в учении о структуре механизмов, иначе говоря, в изучении кинематического «скелета» машины. Действительно, тривиальным является положение о том, что неправильно построенный механизм работать не будет. Если же мы найдем правильные пути построения механизмов, выявим те законы, которые управляют ими, то можем тогда быть уверенными, что и механизмы, и построенная из них машина будут работать правильно.

Нам придется возвратиться к шарнирным механизмам, о которых речь шла выше. Появились они в Европе около XII в. и распространялись очень медленно, так как изготовление шарниров для того времени было делом очень трудным. Если перелистать «Театры машин», которые представляли собой сборник картинок, изредка с небольшими пояснениями, то можно найти несколько шарнирных механизмов. Четыре века назад в Испании была построена водоподъемная машина, создателем которой был королевский инженер Хуанело Турриано. Было построено еще несколько механизмов, и лишь после того, как Джеймс Уатт изобрел четырехзвенник, одна из шатунных точек которого приближенно воспроизводила прямую линию, к шарнирным механизмам начали относиться более серьезно.

В середине прошлого столетия теорией шарнирных механизмов заинтересовался знаменитый русский математик Пафнутий Львович Чебышев. Он тщательно изучил особенный механизм в паровой машине, служившие для превращения прямолинейного движения поршня во вращательное движение коромысла, т. е. механизм, известный под названием параллелограмма. Эмпирические правила, которым следовал его изобретатель, «могли служить руководством для практики только до тех пор, пока не встретилась необходимость изменить форму, с изменением формы этого механизма потребовались новые правила».

Чебышев подошел к решению этого вопроса чрезвычайно остроумным путем: он построил целую серию механизмов, которые могли приближенно воспроизводить прямую линию, окружность или какой-либо иной

закон преобразования движения. Экспериментально исследовав эти механизмы, он построил математическую теорию приближения функций полиномами, наименее уклоняющимися от нуля, иначе говоря, нашел способ приближенного воспроизведения линии с наименьшими отклонениями от точного их течения. Он указал на тот факт, что иногда приближенное решение оказывается точнее «точного», когда речь идет о воспроизведении определенных зависимостей механическими средствами, и нашел закон правильной структуры плоского механизма: взаимоотношение между числом звеньев и числом их сочленений — кинематических пар.

Нужно сказать, что все машины и все механизмы представляют собой сочленения пространственных тел. Великий немецкий художник и геометр Альбрехт Дюрер установил, что пространственное тело (он пользовался образом человека) можно изобразить, спроектировав его на три перпендикулярные друг другу плоскости. Французский математик Гаспар Монж в результате обобщения работ предшественников пришел к созданию начертательной геометрии, послужившей основой технического черчения — международного «языка» всех техников и инженеров.

Но на практике оказалось, что подавляющее большинство механизмов можно изображать лишь в одной проекции, которая и дает всю полноту сведений о их строении. Такие механизмы назвали плоскими в отличие от пространственных, для которых одна проекция была недостаточной, и надо было дополнительно чертить механизм во второй, а иногда и в третьей проекции. Пространственных механизмов было известно немного, древнейшими из них были винтовой и шарнирный. Поэтому вся теория механизмов создавалась на базе исследования плоских механизмов, и лишь в конце прошлого века начались очень робкие и, вообще говоря, безуспешные попытки создать теорию пространственных механизмов.

Поэтому и учение о структуре механизмов разрабатывалось на базе плоских механизмов, и лишь позже его начали распространять на пространственные механизмы. При этом механизм делили на отдельные

кинематические цепи и определяли число степеней свободы всего механизма как сложной цепи.

Структурная теория Ассура. Первые работы по классификации механизмов приводили к решению лишь части поставленных задач: они отвечали на вопрос, будет ли механизмом некоторая механическая структура, но ничего не говорили о том, по каким законам можно эту структуру построить. Первым, кто занялся последовательным построением механизмов, был ученик Жуковского русский ученый-механик Леонид Владимирович Ассур.

Основной идеей ученого явилась мысль о единообразии строения механизмов, из которого вытекала идея о подобии методов их исследования. По его мнению, каким бы сложным ни был плоский механизм (мы пока говорим только о плоских механизмах) и какие бы разнообразные кинематические пары он ни включал, всегда можно найти такой шарнирный механизм, который в определенное мгновение заменит основной механизм.

Кинематика шарнирных механизмов тогда еще представляла собой некую совокупность более или менее остроумно решенных задач, не связанных единым методом. Не особенно много было известно о структуре шарнирных механизмов. Знали лишь то, что в составе шарнирных механизмов можно обнаружить двух-, трех- и четырехповодковые группы. Было выяснено принципиальное родство между плоскими механизмами с шарниром и механизмами с ползунком (в поршневом насосе и паровой машине). Большинство известных механизмов имело в своем составе двухповодковые группы, рассчитывать такие механизмы умели. Что же касается трех- и четырехповодковых групп, то они появлялись в составе механизмов «случайно» и нарушали весь порядок расчета.

Чтобы разложить механизм на элементарные составляющие, следовало решить вопросы: какую структуру можно считать элементарной, какую форму должен иметь элементарный механизм, какие неделимые далее части должны войти в его состав.

В последней четверти прошлого века немецкий ученый-машиностроитель Франц Рело предложил теорию кинематических пар, показав, что составляющими всех механизмов являются материальные тела — звенья и

их сочленения — кинематические пары. Теория кинематических пар дала многое для понимания сущности механизмов, но все же пара была лишь иным выражением математического понятия связи, сама по себе не представляя материального тела. Это понял и сам конструктор, принявший за элементарный механизм шарнирный четырехзвенник. Последнее не решило задачи: очевидна была неэлементарность и сложность структуры четырехзвенника.

Несомненно, что новые структурные идеи были связаны с анализом четырехзвенника, но дело в том, что Ассур увидел здесь то, чего не видели его предшественники: двухповодковую группу как основной структурный элемент исследуемого механизма. Логически развивая эту мысль, он пришел к выводу, что такая двухповодковая группа пригодна также для построения новых механизмов. Так были заложены основы теории построения кинематических цепей и найден их исходный генетический элемент: двухповодковая пара, состоящая из двух звеньев и одного сочленения.

Эта группа может иметь несколько форм в зависимости от того, в какую пару должны входить свободные концы поводков и какую форму имеет связывающая поводки пара. Каждая из них может быть соответственно шарниром или же ползунком (поступательно движущимся звеном), если радиус шарнира становится бесконечно большим. При этом можно получить всего пять вариантов двухповодковой группы: с тремя шарнирами, с одним средним ползунком, с одним крайним ползунком, с двумя крайними ползунками, с одним крайним и одним средним ползунками.

Если взять двухповодковую группу в одной из ее возможных модификаций и закрепить две крайние пары на одном из звеньев механизма или на неподвижной плоскости, то группа образует жесткий треугольник нулевой подвижности. Рассуждая по аналогии, ученый пришел к выводу о том, что совершенно не обязательно прикреплять исследуемую группу к механизму. Достаточно будет присоединить ее к неподвижной плоскости, и если она образует тогда жесткую систему, то можно считать ее пригодной для образования механизмов.

Сложнее обстояло дело с трехповодковыми группами. Если прикрепить свободные шарниры к неподвиж-

ной плоскости, то образуется жесткая система — замкнутая кинематическая цепь нулевой подвижности. Если же свободные шарниры присоединить к звеньям механизма принужденного движения или в частном случае, одним свободным шарниром к звену, вращающемуся около некоторого неподвижного центра, а прочими свободными шарнирами к жесткому звену, то получится механизм с одной степенью свободы. При этом последовательным многократным присоединением трехповодковой группы можно образовать новые механизмы из уже существующих.

Для создания более сложных групп ученый предложил так называемый метод развития поводка: на одном из поводков строится жесткий треугольник с двумя свободными шарнирами. Продолжая эту же операцию — присоединив один из поводков трехповодковой группы, можно получить четырехповодковую группу, а из четырехповодковой — пятиповодковую. Но последняя имеет уже свою характерную особенность. Она имеет в своем составе три жестких треугольника, из которых два имеют по два поводка, а средний — один поводок. Следовательно, результаты развития разных по своему положению поводков не будут идентичными.

Будем сперва развивать один из поводков, присоединенных к крайнему жесткому треугольнику. Такая операция дает цепи, которые были названы открытыми простыми цепями нормального типа. Присоединяя такие цепи к механизму, мы будем получать новые механизмы более сложной структуры. Если затем переносить поводки с крайних звеньев на средние, то первоначальная цепь или распадается на более простые, или же в результате такого переноса образуются цепи нового вида с избыточными или недостающими поводками. Последние Ассур не исследовал, между тем его последователи показали, что такие цепи могут давать новые типы механизмов.

Для образования новых механизмов был разработан способ наслоения, заключающийся в последовательном присоединении к некоторому механизму, принятому за основной, ряда цепей. В качестве основного механизма использовался кривошип, т. е. звено, шарнирно связанное с жестким основанием и имеющее

свободный элемент шарнира на другом конце, который может описать полную окружность вокруг закрепленного центра.

Все механизмы, образуемые из простого кривошипа с помощью наслоения простых многоповодковых цепей нормального типа, были названы механизмами первого класса. При этом наиболее сложная группа, входящая в состав механизма, определяет его порядок. Так как большинство механизмов состоит из кривошипа и подсоединенных к нему двухповодковых групп, то, следовательно, все они относятся к первому классу и соответствуют второму порядку. К первому классу третьему порядку относится, в частности, кулиса Стефенсона, где трехповодковая группа встречается один раз.

Вернемся к нормальной пятиповодковой цепи и вместо одного из крайних поводков разовьем единственный поводок среднего звена. В результате получим незамкнутую кинематическую цепь, состоящую из жестких треугольников и шарнирно присоединенных к ним поводков. При этом звено, выпускающее разветвление, совершенно лишено поводков, соседние с ним звенья имеют по два поводка. В дальнейшем можно присоединить один или оба поводка звена, шарнирно связанного со средним.

Цепи, полученные в результате описанных операций, были названы сложными открытыми цепями, многоповодковыми, нормального типа. Такая цепь, присоединенная всеми свободными шарнирами поводков к жесткому звену и лишенная затем одного поводка или же присоединенная одним из свободных шарниров к кривошипу, а всеми прочими к жесткому звену, дает начало механизму.

Механизмы, которые содержат в своем составе сложные многоповодковые цепи нормального вида, были названы механизмами второго класса. Порядок механизма определяется количеством бесповодковых звеньев, входящих в состав цепи. Так как любая цепь первого класса не имеет жестких бесповодковых звеньев, то на основе этого принципа можно было бы назвать ее цепью второго класса нулевого порядка.

Одним из наиболее существенных свойств сложной открытой цепи нормального вида является то, что при перемещениях одного поводка она распадается на не-

сколько открытых цепей нормального вида. Таким образом, сложная открытая многоповодковая цепь может быть выделена из состава механизма в качестве одной из тех групп, на которые он распадается.

Построив изложенным способом цепи первого и второго классов, можно продолжить усложнение изучаемых цепей. Пусть задана некоторая простая открытая нормальная цепь, всеми поводками прикрепленная к основанию и поэтому представляющая собой жесткую систему. Если в этой системе открепить два крайних поводка, то тем самым она приобретет две степени свободы. Если же соединить освобожденные таким образом элементы шарниров вместе, получится опять жесткая система, но совершенно иной конфигурации. Полученная таким образом цепь, состоящая из связанных вместе жестких одноповодковых звеньев, была названа простой замкнутой цепью нормального типа с однообразным распределением поводков, а соответствующие механизмы отнесены к третьему классу.

Следующее построение опять усложняет цепь: если отсоединить поводки у двух жестких звеньев замкнутого многоугольника, то тем самым число степеней свободы системы увеличится на два. Если затем освобожденные от поводков шарниры соединить вместе, то эти две степени свободы вновь исчезают. Таким образом можно получить новую группу цепей, характерной особенностью которых является совокупность двух или большего числа многоугольников, образованных жесткими звеньями. Эти цепи были названы сложными замкнутыми цепями, а получаемые с их помощью механизмы отнесены к четвертому классу.

Все цепи, относящиеся к рассмотренным четырем классам, объединяются в одну большую группу, названную первым семейством. Далее можно строить более сложные цепи второго семейства; здесь также обнаружены четыре класса; усложнение цепей второго семейства приводит к четырем классам третьего семейства, затем к четвертому семейству; подобные рассуждения можно продолжать до бесконечности.

Так получается большое многообразие цепей — схем каких-то механизмов, над которыми можно производить некоторые формальные операции. По-видимому, существует некоторое сродство между этими це-

пями, несущими механическую информацию, и теми цепочками органических молекул, которые несут генетическую информацию, хотя теория образования механических цепей была разработана задолго до того, как были открыты гены. Количественные и качественные соотношения, полученные методом построения цепей, приводят к двум следствиям. Первое состоит в том, что все существующие механизмы укладываются в описанные структурные образования и лишь изредка попадают в число двух образований. Это означает, что свободное созидание механизмов, не ограниченное никакими условиями, само по себе замкнулось в очень тесном кругу возможных вариантов, и поиски новых механизмов происходили лишь среди известных и хорошо изученных структурных комбинаций.

Второе следствие структурной теории — это возможность использования для нужд практического машинного конструирования всего того богатства форм цепей, которое обнаруживается при его аналитическом рассмотрении.

Структурная теория Ассура—Артоболевского. Разработка структурной теории Ассура была продолжена советским ученым Иваном Ивановичем Артоболевским. Работая на протяжении ряда лет над развитием идей своего предшественника и исследуя важный вопрос о возможности их применения к теории пространственных механизмов, он построил стройную структурную и классификационную систему механизмов. По его мнению, в учении об элементах, из которых составляются механизмы, почти не делалось попыток установить связь и преемственность методов структурного анализа с методами кинематического и динамического анализа. Поэтому он начинает свое исследование с изучения структуры и классификации кинематических пар, затем изучает кинематические цепи и только после этого переходит к вопросу о структуре и классификации механизмов, получая таким образом цельную, логически взаимосвязанную теорию. Приняв в качестве исходного положения структурную теорию, он обобщил также классические результаты и русских математиков, и представителей немецкой науки о машинах, а кроме того, результаты советских исследователей в области теории машин.

Так была построена систематика механизмов, которая нашла самое широкое применение в мировой науке. Развивая теорию кинематических пар и исходя из количества связей, накладываемых на относительное движение звеньев, Артоболевский различает кинематические пары пяти классов. К первому классу были отнесены пары, накладывающие одну связь и, следовательно, имеющие пять из шести возможных степеней свободы. Пары второго класса накладывают две связи, пары третьего класса — три связи, пары четвертого класса — четыре связи, пары пятого класса — пять связей. Иначе говоря, эти пары имеют лишь одну степень свободы. Представителями пятого класса являются шарнир и ползунок. При этом любая пара высшего класса может быть заменена кинематической цепью, состоящей из ряда звеньев, входящих в пары низшего класса. На этом основании можно свести исследование структуры цепей, образованных парами разных классов, к исследованию цепей, звенья которых входят только в пары пятого класса. Замечание это вводит единство в исследование механизмов и теоретически обосновывает возможность исследования механизмов в единообразных схемах.

В структуре кинематических цепей в зависимости от общих условий связи, налагаемых на цепь, различаются пять семейств. Семейство, не имеющее никаких общих связей, называется нулевым. Это пространственные механизмы в самом общем виде. Затем следуют механизмы первого семейства, имеющие одну общую связь (пространственные), механизмы второго семейства, имеющие две общие связи (пространственные), механизмы третьего семейства, имеющие три общие связи (сферические пространственные и плоские), механизмы четвертого семейства, имеющие четыре общие связи, в простейшем случае включают только поступательно движущиеся пары.

Наиболее существенно в такой классификации то, что механизмы одного семейства исследуются подобными методами; таким образом, каждое семейство имеет характеристику, отличающую его от других семейств. При образовании кинематических групп различных семейств ученый пользуется единым принципом, названным им методом развития контура. Метод этот заклю-

чается в следующем: всякая достаточно развитая группа может состоять из одного или нескольких контуров, образующих каждый в отдельности замкнутую кинематическую цепь, и нескольких незамкнутых цепей, которыми звенья контура могут присоединяться к звеньям первоначального механизма. Незамкнутые цепи, состоящие из одного лишь звена, называются поводками. Цепи, состоящие из нескольких звеньев, называются развитыми поводками или ветвями. Таким образом, основной структурной группой служит замкнутый контур. Последний может быть жестким или может обеспечивать своим звеньям взаимную подвижность. В самом развитом семействе — нулевом — подвижный контур должен содержать не менее семи кинематических пар пятого класса, в первом семействе — не менее шести пар пятого класса и т. д. Поэтому контур, обладающий пятью или четырьмя парами пятого класса, будет в цепях нулевого и первого семейств жестким, а в цепях третьего и четвертого (соответственно) семейств его звенья будут иметь взаимную подвижность.

Была введена следующая классификация контуров: поводок, выступающий как кривошип или ведущее звено, получает условное наименование контура первого класса, трехшарнирное звено называется контуром второго класса, замкнутый шарнирный четырехсторонник получает наименование контура третьего класса, шарнирные пятизвенник и шестизвенник соответственно называются контурами четвертого и пятого классов. Класс контура определяет количество его степеней свободы. Поэтому сочленение контура с поводками должно образовывать группы по определенному закону так, чтобы эти группы имели предписанное число степеней свободы.

Н. Е. Жуковский в отзыве на работу своего ученика Л. В. Ассура указывал, что основной идеей этого труда было рассмотрение трехшарнирных звеньев, прикрепляемых тремя поводками к трем точкам механизма. Тогда прикрепление звена концами поводков к неподвижному основанию даст жесткую структуру. Эту же идею развивал И. И. Артоболевский при своем построении общей систематики механизмов.

Теперь, чтобы подойти к рассмотрению внутренних подразделений систематики, нам придется включить в изложение некоторые элементарные формулы. Итак, пусть n — число звеньев механизма, а P_5 — число кинематических пар пятого класса. Тогда для цепей нулевого семейства с парами только пятого класса существует такое равенство:

$$6n - 5P_5 = 0, \text{ откуда } P_5 = {}^6/_5 n.$$

Будем подставлять в эту формулу числа, кратные пяти, чтобы получить ответ в целых числах. Тогда при числе звеньев, равном 5, 10, 15, ..., получим соответственно число кинематических пар, равное 6, 12, 18, ... Первая пара этих цифр соответствует группе второго класса второго порядка. Присоединяя ее концевыми шарнирами к ведущему звену (группе первого класса) и к стойке, получим семизвенный шарнирный пространственный механизм нулевого семейства второго класса второго порядка. Путем замены звеньев и пар пятого класса парами, обладающими большею подвижностью, получим механизмы с меньшим числом звеньев, относимые к тому же семейству классу и порядку.

Механизмы второго класса других семейств образуются совершенно аналогично. Механизмы третьего класса всех семейств, соответствующие второй паре равенств, определяющих группы, уже будут включать в свой состав жесткие контуры.

Рассмотрим более подробно систему плоских механизмов, входящую в третье семейство и носящую название классификации Ассура—Артоболевского.

Согласно изложенному ведущее звено, входящее в пару со стойкой, образует механизм первого класса. Под этим условным наименованием подразумевается кривошип, способный вращаться в своей плоскости вокруг центра шарнира — кинематической пары пятого класса. Уравнение для групп третьего семейства выглядит так:

$$3n - 2P_5 = 0, \text{ откуда } P_5 = {}^3/_2 n.$$

Здесь числу звеньев, равному 2, 4, 6, 8, ..., соответствует число пар пятого класса, равное 3, 6, 9, 12, ... Первой паре этих чисел удовлетворяет двухповодковая группа, с которой начинал свое исследование Ассур. Теперь

эта группа получает наименование группы второго класса второго порядка. Вместе с тем все механизмы, образованные наращиванием двухповодковых групп, относятся к тому же классу и порядку. Отсюда следует, что второй класс плоских механизмов имеет в своем составе лишь один порядок.

Как уже говорилось, одна или две вращательные пары могут быть заменены поступательными парами: так образуется пять вариантов двухповодковых групп. Замена всех трех шарниров поступательными парами преобразует группу третьего семейства в механизм четвертого семейства.

Второе сочетание чисел звеньев и пар пятого класса соответствует трехповодковой группе. По числу поводков эта группа называется группой третьего класса третьего порядка, а следовательно, и механизмы, в состав которых входит хотя бы одна такая группа, также относятся к механизмам третьего класса третьего порядка. Развитием поводка в трехшарнирное звено мы получим группу третьего класса четвертого порядка.

Таким образом, новая систематика механизмов полностью не совпадает с начальной систематикой Ассура. В частности, оба его первых класса попадают в третий класс новой классификации Артоболевского. В то же время из первого класса Ассура выделены в особый класс механизмы, образованные наслоениями двухповодковых групп. Сделано это для того чтобы строго выдержать принцип единства методов исследования. Как это, впрочем, выяснил и сам Ассур, методы исследования двух- и трехповодковых групп не идентичны, тогда как простые и сложные нормальные цепи с жесткими звеньями исследуются одними и теми же способами.

Вторая возможная цепь из четырех звеньев и шести пар представляет собой шарнирный четырехзвенник (с одной степенью подвижности), образованный двумя трехшарнирными звеньями, связанными попарно двумя же поводками. Свободные элементы кинематических пар у вершин треугольников служат местами сочленения группы с ведущим звеном и стойкой. Поэтому группа называется группой четвертого класса второго порядка. Механизмы, в состав которых входят замкнутые контуры однократной изменяемости, назы-

ваются механизмами четвертого класса. Продолжая ту же операцию, мы сможем прийти к механизмам, в составе которых окажутся контуры двухкратной изменяемости (механизмы пятого класса).

Другими словами, класс контура зависит от количества пар, в которые входят образующие его звенья. Класс группы определяется классом наивысшего по классу контура, входящего в ее состав. Порядок же группы определяется количеством элементов кинематических пар, которыми группа присоединяется к основному механизму.

Следовательно, теория структуры механизмов позволяет строить группы любой сложности, которые можно было бы использовать в практике. Естественно, что не все множество получаемых таким образом механизмов может найти себе применение в практическом машиностроении, в особенности это касается групп сложной и очень сложной структуры. Не следует забывать, что, кроме условий правильности структуры, на механизмы налагается и много других условий, которые приходится учитывать в процессе конструирования новых механизмов. Все же рассуждения Артоболевского в этом отношении содержат много поучительного и в значительной степени являются заделом на будущее. Не лишено интереса и то, что генетические структуры и структуры механизмов могут исследоваться при помощи аналогичных математических методов. В сущности, и те и другие являются топологическими задачами, и в решении возникающих при этом проблем смогла бы оказать действенную помощь теория графов. Впрочем, в теории структуры в этом направлении уже выполнен ряд исследований.

Ассур, исследуя математическую сторону поставленных им структурных проблем, неоднократно указывал на их топологическое происхождение, тем более что он строил цепи, совершенно не обращаясь к их количественным характеристикам. Он считал, что изучение сложных шарнирных образований не только само по себе представляет интерес для геометров, но сможет послужить и для дальнейшего развития топологии. Он начал искать сродство поставленных им задач с проблемами топологии, лишь встретившись с необходимостью ввести изучение обходов в цепях второго (по

Ассуру!) класса. Тут выявляется особенное значение бесповодковых трехшарнирных звеньев и, следовательно, теряется значение поводков, которыми, собственно, и отличаются нормальные цепи от иных цепей. Отсюда следует вывод, что не только нормальные цепи, но вообще и все цепи укладываются в классификацию нормальных цепей (классификация Ассура остается составной частью систематики Ассура — Артоболевского с некоторыми лишь терминологическими коррективами).

Вот это обобщение задачи, обусловленное полным абстрагированием от ее механической сущности, опять приводит Ассура к понятию о цепях как о линейных комплексах. При этом возникает вопрос об обходности узловых точек, и он рекомендует геометрам продолжить и развить это его исследование. Остаются неразрешенными еще некоторые теоретические вопросы о возможных цепях высших классов и о распадении цепей на простейшие; вопросы эти не поддаются решению принятыми им методами.

Ассур неоднократно возвращается к поставленной им топологической задаче. Здесь он видит не только метод решения интересующего его вопроса, но также и основание для развития математической теории. Правда, его пожелание долго оставалось невыполненным, и лишь через пятьдесят лет после его смерти к исследованию кинематических цепей начали применять теорию графов.

Две рассмотренные системы, предложенные Л. В. Ассуром и его преемником И. И. Артоболевским, не были единственными. Известно еще несколько систем построения структур механизмов, однако, как было показано позднее, в большинстве случаев они не представляют никаких преимуществ по сравнению с описанными системами. В то же время сам Ассур считал, что существуют и такие цепи, которые не укладываются в изложенную систематику. Сущность подобных цепей, как показали исследования советских ученых, заключается в том, что в семействах могут обнаруживаться механизмы с числом общих связей меньшим или большим числа, характерного для данного семейства.

Таким образом, мы всегда можем найти структуру изучаемого нами механизма. Но существует и обрат-

ная задача, относительно более важная при создании новых механизмов, — это задача их синтеза. Если в случае анализа механизма мы приходим к одному и только одному решению, то при задаче синтеза, как оказывается, решение многозначно и зависит от многих параметров, которые следует принять во внимание при разработке схемы нового механизма.

Первое, что приходится принять во внимание при создании схемы нового механизма, — это размеры звеньев. Ведь может оказаться, что механизм, построенный в соответствии с законами структуры и соответствующий определенной схеме, просто окажется ограниченным в относительном движении своих звеньев, и его «ведущее звено» не сможет провернуться на полную окружность, если это от него требуется. Поэтому размеры звеньев должны находиться в определенных пределах. Соответствующие математические уравнения называются условиями существования механизма. Так, например, в самых простейших случаях механизма шарнирного четырехзвенника и кривошипно-ползунного механизма ведущее звено—кривошип— должно иметь возможность сделать полный оборот вокруг базисного шарнира. Очевидно, что в первом случае для этого сумма размеров шатуна и звена, противоположного ведущему (коромысло), должна быть больше суммы размеров кривошипа и жестко закрепленного звена. Но это лишь одно из условий; дальнейшее условие накладывается на относительную величину всех звеньев. Во втором случае кривошип должен быть меньше шатуна.

Подобные условия составляются и для всех других замкнутых кинематических цепей, для того чтобы они были механизмами. При этом может оказаться, что замкнутая кинематическая степень имеет не одну, а несколько степеней свободы. В этом случае она должна иметь не одно, а несколько ведущих звеньев, тогда все остальные звенья будут выполнять предписанные им движения.

Но есть и такие механизмы, которые имеют несколько степеней свободы и которые предписаны им самой схемой механизма. Таковыми являются механизм центробежного регулятора, имеющий две степени свободы, и некоторые другие. Естественно, что в таких

механизмах условия их существования уже иные и зависят от других параметров.

И наконец, есть новая и постоянно растущая количественно и качественно группа механизмов — механизмы роботов и манипуляторов. Если отвлечься от ходовой части машин автономного действия, то орудием или орудиями управляет «рука» такой машины, которая в некоторой степени должна имитировать движения руки человека. Поэтому механическая рука с точки зрения структуры представляет собой незамкнутую кинематическую цепь с некоторым числом степеней свободы. Естественно, что образцом в этом случае должна быть рука человека, но число степеней, которым обладает последняя, является недостижимым, по крайней мере при современном состоянии науки и техники. Кроме того, ранее мы определили механизм как замкнутую кинематическую цепь. А теперь мы говорим о разомкнутой цепи. Нет ли в этом противоречия?

Вернемся опять к руке, которая является именно разомкнутой кинематической цепью. Ее звенья — кости, связаны одна с другой кинематическими парами. Сочленения, которые связывают кости пальцев, напоминают шарниры, они оставляют звеньям одну степень свободы. Сочленения плеча, предплечья, кисти напоминают сферические шарниры — пары, допускающие по три степени свободы. Звенья всего механизма руки — кости, связаны между собой мускулами, которые можно было бы приблизительно считать пружинами и сложной системой нервов, управляемых центральной нервной системой.

Следовательно, при создании манипулятора, для того чтобы он в какой то степени имитировал движения руки, следует максимально приблизиться к тому пути, который проложен самой природой. Управление рукой человека происходит путем волевого акта, причем траектория движения руки может быть совершенно произвольной: она лишь не должна выходить за пределы того пространства, которое доступно для человека в каждом конкретном случае. Следует помнить также, что человек работает своей рукой или обеими руками не только в пределах их досягаемости, но и во всех точках того пространства, в которое может перей-

ти. Таким образом, проблема манипулятора, какой бы самостоятельной и усложненной она ни была, связывается с проблемой робота, имеющего возможность перемещения на плоскости или в пространстве, и с более сложной проблемой шагающего механизма. Кисть человека как сложная разомкнутая кинематическая цепь на практике может установить некоторый объект в произвольном положении в том пространстве, которое возможно для нее в каждом конкретном случае.

Как уже было указано, тело в свободном движении в трехмерном пространстве имеет шесть степеней свободы. Шесть степеней свободы можно описать как три движения вдоль трех взаимно перпендикулярных координатных осей и три поворота вокруг тех же осей. При выполнении этих условий рука может занять в пространстве требуемое место. Следовательно, и манипулятор должен прежде всего обладать шестью степенями свободы. Но этого недостаточно и для того, чтобы манипулятор имел возможность перенести некоторый предмет из одного положения в другое, ему нужно добавить еще седьмую степень свободы, а затем одну-две степени свободы, для того чтобы искусственная рука могла проходить через неудобные места.

Естественно, что каждая дополнительная степень свободы улучшает качество работы манипулятора, но дело заключается в том, что каждая степень свободы требует отдельного привода и увеличения сети управления, что само по себе может сказаться неблагоприятно.

Очень важно найти правильную структуру манипулятора. Его кинематическая цепь должна быть построена так, чтобы в результате сочленения его звеньев вся система имела запроектированное число степеней свободы. Так как цепь не замкнута, то количество звеньев равно числу всех пар, а число степеней свободы—тому числу, которое составляют все кинематические пары цепи. Таким образом, если цепь состоит из четырех звеньев, которые соединены тремя кинематическими парами четвертого класса (накладывающими по четыре связи и, следовательно, оставляющими по две степени свободы), а четвертое звено оборудовано захватом — парой пятого класса, то вся цепь имеет семь

степеней свободы. Такая структура может быть использована при построении манипулятора. Конечно, подобное решение — лишь упрощенный пример, но сущность его от этого не меняется: число степеней свободы незамкнутой кинематической цепи—манипулятора должно равняться сумме степеней свободы кинематических пар. Кроме того, задача усложняется еще и ориентацией манипулятора, зависящей от его конструкции. Захват механической руки может действовать в каждой точке пространства, что определяется суммой длин звеньев, составляющих цепь манипулятора, однако возможности последнего в различных точках рабочего пространства неодинаковы: рабочая зона некоторой модели может не соответствовать рабочей зоне другой модели, хотя бы и с подобными параметрами.

Поле возможного оперирования увеличивается для механической руки при помощи ходовой части робота. Ее конструкция может не намного отличаться от конструкции передвижных кранов; здесь важно то, что робот может обслужить полностью все то пространство, которое должно находиться в пределах его досягаемости. Однако существуют и такие машины, для которых обычный монтаж уже не является приемлемым; зачастую случается, что машины некоторых типов, например экскаваторы, должны работать или в условиях очень плохих дорог, или при полном бездорожье. В этих случаях приходится прибегать к новым типам механизмов — к шагающим механизмам. История их создания начинается в последней четверти прошлого века, среди иных механизмов появился прообраз шагающего механизма — «стопоходящая» машина Чебышева. Однако использованные здесь так называемые лямбдаподобные механизмы с одним ведущим звеном могли обеспечить лишь постоянные траектории и не могли учитывать изменения своего пути. Все же, как писали изобретатели первых шагающих механизмов, идея их создания была ими заимствована у Чебышева.

«Стопоходящая» машина должна была копировать движения конечностей человека и животных. Но такие «траекторные» машины имели очень сложную кинематическую схему и не приспосабливались к условиям пути. Для того чтобы машина могла «чувствовать» путь и приспособляться к нему, вводятся соответствую-

щие изменения в схему механизма. Среди разных предложенных систем встречаются очень любопытные решения, например введение синхронно работающих шестнадцати «лап», размещенных по четыре в каждом углу шасси.

Не все предложенные модели оказались приемлемыми в том или ином смысле: слишком многим условиям должны удовлетворять механизмы ходьбы, а самое существенное заключается в том, что они должны быть устойчивыми в любом положении и порядок включения отдельных опорных элементов должен быть строго синхронизирован. Нужно сказать, что в поисках оптимального решения исследователи используют результаты биомеханики и бионики: здесь опять-таки приходится искать подходящее решение у природы.

Выше мы говорили о том, что структурные решения не всегда оказываются приемлемыми и не всегда механизм, построенный правильно, оказывается работоспособным. Но дело не только в этом. Ведь схемы остаются схемами до тех пор, пока не будет доказано, что они удовлетворяют кинематическим и динамическим требованиям, и лишь после этого может встать вопрос о поисках материалов для изготовления звеньев в виде реальных физических тел. Каждый механизм должен иметь возможность передавать и в большинстве случаев преобразовывать движение так, чтобы ведомое звено обладало заранее обусловленными кинематическими и динамическими параметрами. После того как построена правильная кинематическая цепь, надо определить скорости и ускорения всех точек, которые могут интересовать конструктора, а также угловые скорости и угловые ускорения его звеньев. Найденные величины скоростей дадут возможность определить передаточные отношения соответствующих механизмов.

Таким образом, исследование структуры механизма — лишь первый этап изучения той схемы, которая в дальнейшем приведет к созданию и механизма и затем всей машины. Это в том случае, если механизм уже находится в нашем распоряжении и нужно проверить его пригодность для предписанных ему целей. В таком случае решение однозначно, так как структурный скелет машины един, и если мы даже применим к маши-

не разные структурные разбиения и применим к ней какую-либо «неортодоксальную» структурную систему, все равно результат будет одним и тем же.

Противоположная задача — построение механизма по заданным условиям является принципиально иной; как уже говорилось, она многозначна. Для решения одной и той же кинематической задачи можно использовать различные схемы механизмов, они могут содержать в своем составе и разные кинематические пары. Кроме того, при этом необходимо учитывать также самые различные динамические параметры (технологические и экономические условия, требования обслуживания и ремонт, требования надежности и долговечности, а также многие другие условия) в каждом конкретном случае.

Как показал опыт конструкторской работы, в этих случаях значительную помощь могла бы оказать классификация механизмов по функциональным признакам, к такому решению пришел и сам Артоболевский, а его последователь — известный советский механик Сергей Николаевич Кожевников — предложил следующую классификацию механизмов по функциональным признакам:

механизмы для сообщения ведомому звену вращения с постоянной угловой скоростью (зубчатые передачи, фрикционные передачи с цилиндрическими и коническими катками, ременные, канатные и цепные, червячные, шариковые);

механизмы для сообщения ведомому звену вращения с эпизодически ступенчато изменяющейся угловой скоростью (коробки скоростей из зубчатых колес, ступенчатая ременная и цепная передачи);

механизмы для сообщения ведомому звену вращения с переменной угловой скоростью — реверсивные и нереверсивные (передачи некруглыми зубчатыми колесами, некруглыми шкивами, кулачковые механизмы с качающимся коромыслом, двухкривошипные четырехзвенные механизмы, механизмы с вращающейся кулисой, рычажно-зубчатые, кулачково-зубчатые);

механизмы для бесступенчатого изменения скорости ведомого звена (гидравлические и фрикционные передачи, передачи гибкой связью, жесткие бесступенчатые);

механизмы для сообщения возвратно-поступательного движения с постоянной скоростью (зубчатое колесо и червяк или рейка, гидравлические передачи), а также рычажные механизмы, осуществляющие приближенно движение с постоянной скоростью на некотором участке);

механизмы для сообщения ведомому звену движения с увеличенной средней скоростью обратного хода (различные рычажные механизмы, в частности кулисные);

механизмы с регулируемым ходом ведомого звена;

направляющие механизмы (точные и приближенные);

механизмы для движения с остановками (храповые и анкерные, мальтийские и звездчатые, рычажные, кулачковые);

реверсные механизмы, дающие возможность изменять направление вращения или поступательного движения ведомого звена (ременные и гидравлические, фрикционные передачи);

компенсирующие и уравнительные механизмы;

предохранительные механизмы;

суммирующие механизмы и дифференциалы;

механизмы для выполнения различных математических операций и для воспроизведения функциональных зависимостей;

механизмы регуляторов и модераторов;

механизмы с автоматическим регулированием скорости ведомого звена при изменении нагрузки;

механизмы управления.

Таким образом, мы познакомили читателя с тремя различными видами классификации механизмов — рабочих органов машин. Сначала мы рассмотрели классификацию механизмов по роду их исполнения и отметили тот факт, что исследование механизмов, подобных по своему построению, проводится подобными методами. Затем мы указали на то, что все механизмы любого построения и с любыми кинематическими парами принципиально воспроизводимы, хотя бы для мгновенных перемещений, при помощи шарнирных рычажных цепей, что дало нам возможность глубоко проникнуть в сущность механизмов, выработать стандартные методы исследования, применимые ко всем меха-

ническим системам вообще. Наконец, классификация по функциональному назначению оказалась удобной с точки зрения конструктора, так как она дает в его распоряжение значительный справочный материал. Однако механизмы, относимые по функциональному назначению к определенной группе, исследуются с помощью различных методов, и наоборот, механизмы, относимые к разным подразделениям этой классификации, изучаются подобными методами.

Интересно еще одно обстоятельство. Изложенные здесь идеи в равной степени применимы и к тем машинам и механизмам, которые окружают нас, и к тем, которые были созданы после оформления изложенных идей по систематике механизмов, и к тем, которые были построены на протяжении многих прошедших столетий. Принципы построения машин и составляющих их механизмов остаются неизменными на протяжении веков. Машины, изменяясь, все более и более приближаются по сложности к живым существам, и все же их структура остается неизменной. Если бы мы захотели анализировать какую-либо машину, построенную несколько столетий назад, то могли бы найти в ее схеме все те же группы классификации Ассура—Артоболевского, которые мы находим в современных нам механизмах. Принципы создания машин остаются неизменными, и вероятно, и в дальнейшем эти принципы будут служить машиностроителям.

Становление машин нового типа, машин автоматического и автономного действия влило новое содержание в теорию структуры механизмов; изучение кинематических цепей открытого вида и их характерных особенностей дает возможность развить далее те математические идеи, которые были впервые заложены в теорию структуры механизмов. Так же, как история машин, раз начавшись, продолжается, точно так же и структурный анализ машин и механизмов продолжает развиваться и, несомненно, даст новые результаты, которые найдут свое применение в практическом машиностроении.



Если мы построим структурную схему машины и с ее помощью в качестве одного из вариантов поставленной задачи составим кинематическую схему, то тем самым мы создадим «скелет» будущей машины. Для того чтобы этот скелет стал машиной, все составляющие его звенья должны приобрести нужную форму, а все кинематические пары—получить реальный вид. При этом должно быть учтено и то, что в каждой паре происходит трение, которое необходимо снизить.

Цель создания машины — выполнение определенной работы, и она должна быть снабжена рабочим органом, предназначенным для этой цели. Машина должна работать в движении, и следовательно, должен быть двигатель или целая система двигателей в том случае, если машина в соответствии со своей структурой имеет несколько ведущих звеньев. А для того чтобы сам двигатель был приведен в движение, необходимо к нему непрерывно доставлять рабочее «тело», которое он переработает и в результате получит нужное количество энергии. На протяжении веков существования и развития машин неоднократно менялся их двигатель. Сна-

чала это была сила человека и животных, замененная затем водой и ветром. И, что очень важно, в процессе создания и совершенствования машины человек овладевает круговым движением. Но, конечно, переход от вращения рукоятки ворота к водяному колесу не был простым, и лишь гениальный ум какого-то безвестного древнего инженера создал это чудо.

Приведение в движение машин с помощью... живых сил. Даже когда к движущей силе воды присоединилась и движущая сила ветра, все же значительная часть машин приводилась в действие силой человека и животных. Просматривая труды механиков XVI—XVII вв. и даже XVIII в., мы найдем в них много примеров использования живых сил для приведения в действие машин.

Еще в I в. до н. э. было описано водоподъемное колесо, которое приводилось во вращение ногами раба. Спустя полторы тысячи лет появляется описание водоподъемного устройства, служащего для подъема воды из рудников и шахт. Бадья с водой висит на канате, наматывающемся на барабан, который приводится во вращение через зубчатую передачу от другого вала. С последним жестко связано ступальное колесо, которое вращают, толкая его ногами два человека. Интересно, что коленчатый вал впервые появляется в технике как удобное приспособление при использовании людского труда для привода мельницы.

Среди машин эпохи Возрождения есть несколько ступальных колес: среди них такие, которые работник вращает в основном своим весом, и такие, которые вращает сидящий человек мускульной силой своих ног, есть и наклонное ступальное колесо, плоскость круга которого работник отталкивает ногами, держась руками за горизонтальную штангу. Были и некоторые другие варианты применения силы человека для приведения в действие машины. Так, подъемные краны, работавшие в некоторых морских портах, имели в качестве двигателя барабан большого диаметра, внутри которого бегали (как белка в колесе) несколько человек.

Даже в эпоху буржуазных революций и изобретения парового двигателя машины, работавшие в городских цехах, приходилось приводить в движение силой

животных или чаще силой человека, что было удобнее. По свидетельству одного из крупнейших деятелей Французской буржуазной революции, прозванного «организатором ее побед», военного специалиста, математика и механика Лазара Карно, в то время был изобретен новый, весьма остроумный способ приложения силы человека к машинам. Крупным преимуществом этого нового способа было то, что человек попеременно действует ногами и руками на большую рукоятку, которая движется вперед и назад, и при этом сидит, что «весьма облегчает его труд и дает возможность использовать на машину ту силу, которую он затратил бы на поддержание себя в стоячем состоянии».

Таким образом, долгое время сам человек или в лучшем случае животные включались в работу машины. В наиболее тяжелых случаях, в особенности если это разрешало местоположение машины, роль двигателя передавалась потоку воды или ветру. Что касается материалов, из которых строились машины, то основным из них было дерево. Недаром первое из известных определений машины, высказанное Витрувием, характеризует ее как «сочетание соединенных вместе деревянных частей, обладающее огромными силами для передвижения тяжестей». Он добавляет, что «действует она посредством круговращения».

С того времени прошло более чем полтора тысячелетия, а основным материалом для изготовления машин продолжало оставаться дерево. Из дерева делались не только валы, колеса, оси, тяги, но и зубчатые колеса, даже тогда, когда уже была создана теория зубчатого зацепления и было найдено, что для профилирования зубчатых колес лучше всего подходят две кривые — циклоида и эвольвента. Но начали «входить в строй» и металлические детали, в особенности после того, как началась работа над изобретением паровой машины, длившаяся почти целое столетие, а известные и безвестные изобретатели создали первые технологические машины для хлопчатобумажной и шерстяной промышленности.

Начавшаяся техническая революция была непосредственно связана с преобразованием наук. Рядом со становлением математики и механики — двух наук, сыгравших первенствующую роль в научной революции,

на протяжении всего века идут поиски таких особенностей, которые роднили бы живой организм с машиной. Естественно, что такое направление в развитии биологии и физиологии в качестве отправной точки имело все ту же механику: быстрый рост знаний в этой науке стимулировал поиски таких явлений в живом мире, которые также можно было бы пояснить с помощью механики.

Как уже говорилось, английский врач Уильям Гарвей, основоположник физиологии и первооткрыватель кровообращения, попытался создать механическое учение о движении крови в организме. Это учение, принятое медиками того времени с большим сопротивлением и не сразу, в сущности, было приложением динамики к физиологии и сразу же натолкнуло ученых на мысль о том, не являются ли животные своего рода машинами. Напомним, что в начале XVII в. динамика еще не только находилась в процессе становления, но гидравлика, т. е. учение о течении воды, была изучена достаточно хорошо, и поэтому установить параллель между сердцем, подающим кровь в сосуды, и насосом, подающим воду в трубу или в русло канала, было нетрудно.

К этому нужно добавить и то, что понятие «машина» не существовало, и бытовало определение, приближавшееся к определению Витрувия. Таким образом, механическое учение о кругообороте крови в организме, позволявшее проводить некоторые численные подсчеты, могло дать механикам материал для размышления: сердце работало, подобно машине, следовательно, оно и было своеобразной машиной.

Вспомним и то, что с другой стороны подошел к изучению человека итальянский механик и врач Джованни Борелли, основоположник нового научного направления — так называемой ятромеханики. Он применил к исследованию человека законы механики. Рассматривая сердце как насос, легкие как пневматическую систему, руки и ноги как рычаги, ученый вычисляет при этом механические возможности организма. В частности, он пытался рассчитать, может ли плавать под водой и в какой степени его физиологические функции соответствуют аналогичным функциям машины.

5 7—555

Более определенно высказался в этом отношении Рене Декарт. Он прямо называл животное машиной, умолчав при этом о человеке: в его время нельзя было не только излагать подобные мысли, но и думать так было опасно. Однако идея подобия человека и машины или животного и машины продолжала развиваться. Некоторые высказывания в этом направлении можно найти, например, у доктора физики Роберта Гука. Известно также, что многие механики старались построить искусственное животное или искусственного человека, который обладал бы некоторыми функциями живого существа. При этом не забывали и о некотором физиологическом подобии: механическая утка не только клевала зерно, но и имела пищеварительный тракт, через который удалялись «отходы».

Представляется несомненным и то, что первые чертежи творцов паровой машины, скорее, напоминали схему какого-то процесса в животном организме, чем машину. И даже механизм, включающий пару — цилиндр — поршень, являлся не чем иным, как обращенным насосом, своеобразной разгадкой этого непонятно каким образом работающего насоса — сердца.

Механики искали не только новый вид машин, предназначенных для замены человеческой руки, но одновременно велись и поиски искусственного человека. Эти поиски, как известно, не увенчались успехом, но практической механике они дали многое. Были изучены возможности передаточных механизмов, управлявших отдельными движениями, начато построение машин автоматического действия.

Работы этого направления, как уже отмечалось, были теоретически обоснованы французским философом и врачом Жюльеном Ламетри, книга которого «Человек-машина» была строжайше запрещена церковью. Приблизительно к таким же выводам пришел видный немецкий врач, профессор медицины Фридрих Гофман, переработавший учение своих предшественников. По его мнению, человеческое тело представляет собой не что иное, как машину, которая приводится в движение непрерывной циркуляцией крови. Поэтому и жизнь — в полном смысле механическое явление, для пояснения которого необходимы и достаточны лишь законы механики. Прояснение физиологи-

ческих процессов с точки зрения механики благодаря европейской известности этого ученого, несомненно, не могло не повлиять на находившуюся в процессе созидания науку о машинах вне зависимости от того, соглашались ли с ней те или иные ученые или нет. С этим обстоятельством были связаны и поиски двигателя, который смог бы заменить водяное колесо, но не был бы привязан к определенной местности.

Как и его предшественники, профессор медицины считал, что двигателем потока крови служит сердце. Но он вносил и некоторые коррективы в это утверждение: работа сердца направляется и регулируется движениями нервов. По его мнению, по нитям нервов пробегает некий флюид, своего рода эфир, или «дух жизни». Можно полагать, что эта теория возникла у него под влиянием идей Исаака Ньютона, который пояснял зрительные ощущения колебаниями эфира, распространяющимися вдоль нервов. Местоположением «духа жизни» считался головной мозг, который и управляет движениями мускулов, системой питания и всеми прочими функциями организма.

Подобное учение излагал и известный в Европе голландский врач, ботаник и химик Герман Бургаве. Он пояснял функции отдельных органов человека с точки зрения механики и сводил их к движениям разного рода, а структуру человеческого тела сводил к чисто механическим понятиям, составляя его из деталей и частей, которые обозначал терминами, заимствованными из механики.

Естественно, что все эти учения, которые к тому же поддерживали многие ученые, не могли не оказать влияния на развитие машиностроительной практики. На протяжении всего столетия шла интенсивная работа по изобретению многочисленных автоматов. Эта работа шла параллельно с изобретением новых технологических машин и в определенной степени была с ней связана. Если можно было «выдумать» такие механизмы, которые могли бы заменить действие человеческих рук, то почему же нельзя было изобрести и сами руки, а вместе с ними и тело, управляющее ими?

Одним из известных механиков этого направления был француз Жак де Вокансон, построивший автомат «играющий флейтист», а затем ряд других автоматов.

Его «игрок» мог самостоятельно исполнять 12 пьес для флейты. При этом пальцы автомата воспроизводили достаточно точно движения реального музыканта. Изобретатель сконструировал также механический шелкоткацкий станок и, будучи инспектором королевских шелкоткацких мануфактур, значительно усовершенствовал механическое оборудование. Собранная им коллекция автоматов и механизмов была положена в основу созданной позже Парижской консерватории искусств и ремесел.

Большую известность получили также автоматы, которые построили швейцарские механики Пьер-Жак Дроз и его сын Анри-Луи Дроз. Дроз-отец построил «писца», движениями которого управляла сложная система кулачков, а Дроз-сын — «чертежника», который не только рисовал, но воспроизводил и другие движения. Совместно они создали механическую куклу — «девушку, игравшую на клавесине», которая поворачивала голову, двигала глазами, как бы следя за нотами, а закончивши игру, вставала и раскланивалась. Эти автоматы произвели большое впечатление на современников.

Как уже говорилось, врач по профессии Жюльен Ламетри находил подобие и даже тождество между физиологией человека и «физиологией» часов. Принимая во внимание только механический аспект в поведении человека и животных, так же, как и некоторые другие современные ему врачи, он был далек от истины, но был прав в одном: поиски механиков следовало продолжить.

Но и без того они сделали немало. Если им и не удалось механически воспроизвести физиологические функции человека, тем не менее они впервые решили основную задачу автомата: разделили движения двигателя на целую серию частных движений и привели их в согласование, т. е. сделали то, что сейчас выполняется с помощью циклограммы. При этом им удалось решить и вторую важную задачу: они нашли тот тип механизма, при помощи которого удалось воспроизвести самые сложные по своему характеру движения, им оказался кулачковый механизм, иногда с очень сложной формой ведущего звена.

Таким образом, еще два века назад было решено несколько задач, относящихся к построению машин. Были созданы рабочие органы машин, которые смогли заменить движения человеческой руки, найдены схемы построения автоматов, работающих от одного ведущего звена, изобретена паровая машина, рабочим телом которой был пар, и найдена рациональная конструкция машины. Были поставлены и ближайшие задачи, связанные с улучшением работы механического оборудования вообще. Это повышение коэффициента полезного действия паровой машины, что повлекло за собой изучение свойств пара и его работы в машине, а также рост производительности рабочих машин, что в первую очередь требовало снижения трения в шарнирах и иных кинематических парах машин. Попытки решения первой проблемы привели к созданию термодинамики, второй — к разработке учения о трении.

В прошлом столетии наряду с развитием общей науки о машинах проводилось исследование в области и тех специальных наук, которые исследуют отдельные виды машин, их части, технические процессы. Машины все больше и больше внедряются в производство, принимая на себя значительную часть работы, выполняемой человеком. Появляются и такие машины, которые выполняют операции, вообще невозможные для человека. Естественно, что все это требовало более глубокого изучения процессов, происходящих в машинах. Если два века назад машины работали без помощи ученых, а их строители считали таковую помощь не только бесполезной, но и вредной, то в следующем столетии положение в корне меняется: научное образование постепенно становится обязательным для каждого квалифицированного инженера.

Приведение в движение машин с помощью воды, ветра, тепла и электричества. Даже когда была изобретена паровая машина, древнейшие водяные двигатели продолжают оставаться важным источником энергии. Продолжается исследование водяных колес и улучшается их конструкция.

Так, в первой четверти XIX в. математик и механик Жан Виктор Понселе представил Французской академии наук «Мемуар об улучшении теории и конструкции водяных колес», который и получил премию академии.

Дело заключалось в том, что во Франции того времени водяные колеса доставляли существенную часть энергии для промышленных предприятий. Как правило, механики, строившие колеса, применяли плоские лопатки: ученый предложил лопатки вогнутого типа и тем самым повысил полезное действие колес; его лопатки получили признание не только во Франции, но и за рубежом.

В середине прошлого века английский инженер Уильям Фэйрберн внес в водяное колесо дальнейшее совершенствование: он придал лопаткам форму сосудов, в которые поступала вода. При дальнейшем вращении колеса вода полностью выливалась из лопаток. Такая конструкция лопаток на одну четверть увеличила отдачу колеса.

Многие установки подобного типа были способны заменить силу ста лошадей. Некоторые из этих колес работали целое столетие. Постепенно их заменяли турбинами. Первые турбины появились еще в середине XVIII в., когда венгерский ученый Янош Сегнер предложил модель турбины, так называемое сегнерово колесо. Колесо это усовершенствовал Леонард Эйлер. Но его изобретение не привлекло внимания инженеров, вполне удовлетворявшихся водяными колесами, котоные они умели строить. Лишь в 1827 г. французский инженер Бенуа Фурнейрон создал практически пригодную к эксплуатации модель радиальной центробежной турбины. Она вращалась при значительно более высоком числе оборотов, чем водяные колеса. Оказалось, что вода вновь может соперничать с паром. Однако лишь в конце XIX в. появляются новые конструкции водяных турбин: впрочем, тогда у них появился новый потребитель энергии — динамо-машины, преобразовывавшие механическую энергию, получаемую от турбин, в электроэнергию.

Тем временем развивались паровые машины, которые сначала служили лишь для откачки воды из шахт и только через несколько десятилетий начали испытываться в качестве промышленных двигателей. Одновременно начинается изучение свойств пара и проблем, связанных с его распространением и передачей. Основную роль в этом сыграли исследования французских ученых: во главе французской школы теплотехников

стоял Жан Батист Жозеф Фурье. После организации в Париже Политехнической школы он учился в ней, а затем стал преподавателем. Известно, что он принял участие в Египетской кампании Наполеона и при организации Египетского института стал его непременным секретарем. Здесь он развил большую научную и организационную деятельность. Благодаря своим работам по теории тепла он стал основоположником математической физики, любопытно, что он же внес заметный вклад и в египтологию.

Особую значимость приобрело учение о тепле после изобретения локомотива. В результате быстрого железнодорожного строительства и развития сети железных дорог вопросы теории тепла стали весьма животрепещущими. Ведь в топках локомотивов сжигался уголь, и от того, какую теплоотдачу можно было получить от пара и от лучшей конструкции парового котла, зависели экономия топлива, а значит, и расходы на его приобретение. Число локомотивов быстро росло, но, кроме них, мощные паровые установки были и на промышленных предприятиях, появились паровые двигатели и на морских и речных судах. Все это повысило интерес к изучению всех явлений, связанных с получением пара и с его работой в паровых машинах, а также с вопросами его экономии. Так развивалась новая наука — термодинамика, у истоков которой стоял великий русский ученый Михаил Васильевич Ломоносов.

Выше мы говорили о французском математике Лазаре Карно. Его сын Сади Карно опубликовал работу «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу», в которой рассмотрел вопрос о преобразовании механического движения в тепло. Он построил замкнутую кривую теплового процесса (цикл Карно) и пришел к заключению, что полезную работу можно получить лишь при переходе тепла от более теплого тела к более холодному. При этом он сформулировал теорему о том, что величина работы зависит только от разности температур обоих тел и не зависит от вида вещества, работающего в машине. Так пар был заменен газом, и процесс горения был осуществлен в самой машине. По словам Карно, «целесообразно сжимать воздух насосом, затем перево-

дить его в закрытую камеру, вводя в нее маленькими дозами топливо при помощи механизма, легко осуществляемого, затем предоставить газам возможность действовать на поршень в том же цилиндре или в каком-либо другом расширяющемся сосуде и, наконец, вытолкнуть их в атмосферу или предварительно направить к паровому котлу для использования их теплоты».

Идеи Карно оказались плодотворными, и на протяжении первой половины прошлого века шли более или менее успешные поиски двигателей, работающих на газе. Одним из первых эту задачу решил французский изобретатель Этьенн Ленуар, который в 1857 г. построил двигатель, работавший на светильном газе. Затем в 1876 г. немецкий конструктор Николаус Отто построил двигатель внутреннего сгорания, и двигатели подобного типа, работавшие на нефти, керосине и бензине, быстро распространились: они нашли применение как в промышленности, так и на транспорте — в автомобилях, а затем и в самолетах.

Двигатели Отто не допускали высокого сжатия. Чтобы добиться этого и поднять коэффициент полезного действия, немецкий инженер Рудольф Дизель в 1897 г. создал четырехтактный двигатель (названный его именем), который работал по другому принципу: в течение первого такта в цилиндр всасывался воздух, за второй он сжимался и нагревался. В конце второго такта в камеру сжатия поступало через форсунку распыленное горючее, третий такт был рабочим; в течение последнего (четвертого) такта продукты сгорания выбрасывались в атмосферу.

Так появился новый тип двигателя, при этом новое устройство полностью вписалось в старую форму кривошипно-ползунного механизма. Но в том же самом веке новые формы приобрел вращательный механизм. Его основной формой, с одной стороны, стала турбина, с другой — динамо-машина и электромотор.

Напомним, что первые научные исследования электрического тока относятся к тому времени, когда итальянский физик и физиолог Алессандро Вольта изобрел источник постоянного тока «вольтов столб», тем самым было положено начало исследованиям электричества как нового источника энергии. Основой развития элек-

тротехники стала электромагнитная теория, которую разработал английский ученый Джеймс Клерк Максвелл. В середине прошлого века начинаются поиски электрогенератора, т. е. машины для производста электрического тока. В 1869 г. бельгийский инженер Зеноб Грамм изобрел генератор постоянного тока с кольцевым якорем. Эта машина претерпела ряд улучшений, и к 80-м годам века проблема генератора была решена.

Следующим этапом были поиски возможности передачи электротока на расстояние. Русский инженер Михаил Осипович Доливо-Добровольский предложил применять для передачи электрической энергии трехфазный ток. Он же построил первый асинхронный двигатель трехфазного тока и в 1891 г. на выставке во Франкфурте-на-Майне передал электроэнергию на расстояние около 170 км.

Эти новые возможности, открывшиеся перед техникой, в частности перед машиностроением, повлекли за собой новое направление в промышленности. Повсеместно начали строить «фабрики» электроэнергии — электростанции. Исходным рабочим телом на последних были пар или вода, приводившие во вращение паровую или водяную турбину, с которой был соединен электрогенератор. Впрочем, в небольших электростанциях роль первичного двигателя исполняла паровая машина, а спустя несколько десятилетий — нефтяной или керосиновый двигатель. Выработанная с помощью генератора энергия передавалась на место потребления к системе электродвигателей. Это дало возможность подвести энергию к каждой рабочей машине, и цехи производственных предприятий освободились от леса ременных передач, которые к тому же были источниками производственных травм.

Таким образом, человечество вступило в новый век, располагая для приведения машин в действие энергией ветра, воды, тепла и электричества. Эти виды энергии могут действовать, не только поступая извне, но и образуясь в результате работы соответствующего рабочего тела в самой машине. Изучаемые издавна гидравлика и пневматика легли в основу создания новых механизмов, входящих в кинематический скелет машины. Электрические, электромагнитные и электронные приборы также вошли в состав машин, кроме того,

электродвигатели, которые вначале устанавливались около машины и приводили ее в движение с помощью все того же ременного привода, затем начали входить в состав машины и в конце концов составили ее интегральные части.

К сожалению, не вся энергия, получаемая машиной, идет на выполнение некоторой полезной работы, для оценки которой, как известно, служит коэффициент полезного действия (равный отношению количества полученной работы к количеству затраченной и всегда меньший единицы). Но куда же девается та работа, которая равна разности между всей затраченной работой и той, которая получена и пошла в дело? Оказывается, энергия уходит по многим каналам. Так, в тепловых машинах не все тепло используется по своему назначению: весьма значительная часть его уходит в атмосферу через стенки машины или с отходящими газами. Таким образом, машина не только «отопляет атмосферу», но и наносит ей вред, не всегда поправимый.

Транспортные машины — поезда, автомашины, самолеты, корабли — в процессе своего движения испытывают сопротивление среды (будь то воздух или вода). Для снижения потерь на сопротивление среды транспортным машинам придают обтекаемую форму. Не случайно наилучшую в мире форму крыла первых отечественных самолетов удалось найти только после того, как наряду с теоретическими расчетами были проведены и практические испытания его обтекаемости потоком воздуха, поступающего в специально построенную для этого аэродинамическую трубу.

Задача более полного использования тепла в тепловых машинах стояла перед машиностроителями и энергетиками в прошлом веке и продолжает оставаться одной из важнейших проблем современной техники. Ведь повышение коэффициента полезного действия даже на долю процента означает экономию колоссальных количеств угля, нефти и других горючих материалов, это означает серьезную экономию в транспортных средствах и, наконец, экономию труда. В зависимости от типа и характера тепловой машины применяются различные способы экономии тепла. Вспомним, что и мы зимой экономим тепло собственного тела, наде-

вая более плотную одежду, которая увеличивает прослойку воздуха между одеждой и телом, экономим тепло в жилищах, обеспечивая теплоизоляцию.

Значительная доля энергии уходит также через кинематические пары в результате трения. Если представить себе соединения суставов в организме, то они в полном смысле этого слова также являются кинематическими парами, а следовательно, в них возможно трение. Для уменьшения трения природа пошла очень разумным путем: между костями в сочленениях имеется упругая прослойка, их покрывает хрящевая ткань, окружающая полость с суставной жидкостью (если в в суставах откладываются соли, они перестают исполнять свои функции). Подобное происходит и в кинематических парах механизмов. Для того чтобы в сочленении двух звеньев не было сухого трения, между ними вводится смазка, которая частично противодействует трению. Кроме того, что процесс трения «забирает» определенное количество энергии, трущиеся детали постепенно срабатываются и в определенное время их нужно менять, так при уменьшении размеров снижается прочность деталей, а при увеличении зазора в кинематической паре сила начинает передаваться от одного звена к другому с ударом, что может вызвать поломку деталей.

Явление трения в машинах в конце прошлого века оказалось одной из наименее разработанных областей механики. Правда, исследованием трения занимались и веком раньше. Однако все эти исследования относились лишь к явлению сухого трения, а увеличившиеся скорости работы механизмов потребовали принципиального пересмотра полученных результатов и их применимости к реальным машинам. Ведь детали машин работали в условиях не сухого, а жидкостного трения, еще неизученного, и поэтому инженерам приходилось работать буквально на ощупь. Не были известными и свойства смазочных масел, и явления, происходившие в смазочном слое, следовательно, все технические рекомендации основывались исключительно на большем или меньшем опыте отдельных техников. Особенно острым был вопрос о смазке машин и подвижного состава железных дорог: плохо смазанные буксы зачастую «горели», и это приводило к авариям.

Оптимальным было бы такое решение, при котором между обоими деталями имелось бы достаточно смазки и трение происходило бы не между самими деталями, а между частицами смазывающей жидкости. Подобный тип смазки называется жидкостным. Его теорию, так называемую гидродинамическую теорию смазки, разработал выдающийся русский инженер Николай Павлович Петров в 1884 г., награжденный за исследования в этой области Ломоносовской премией.

Ученый составил программу исследования смазочных масел, предложив произвести их испытание в условиях, соответствующих действительным, и изучить при этом все параметры в зависимости от всех переменных величин. В результате этих опытов он и пришел к гидродинамической теории трения. По его словам, «смазывающий слой, помещающийся между двумя не прикасающимися одна к другой поверхностями, отделяет их друг от друга», частично прилипая к каждой из них, и «эти две части слоя не могут двигаться одна по другой вполне беспрепятственно, вовсе не увлекая и не задерживая друг друга». Подобного явления никогда не наблюдалось именно потому, что части смазывающего слоя не могут двигаться одна относительно другой «без всякого трения».

Вопрос с буксами был не единственным вопросом, стоявшим перед железнодорожниками. Не меньшую важность приобрел вопрос о силах инерции. Оказалось, что при определенном состоянии пути скорости поездов можно увеличивать лишь до определенных пределов и при том необходимо снижать скорость прохождения по кривой. Выяснено это обстоятельство было чисто практически: поезда начали сходить с рельс, возросло число крушений. То же самое было замечено и на флоте: паровые двигатели также при большом числе оборотов начинали расшатывать корпус корабля, и опять-таки это приводило к нежелательным последствиям. Подобные же явления наблюдались и на стационарных установках.

Все это происходило по разным внешним и внутренним причинам. Сначала на них не обращали внимание, иногда даже «верили», что это какая-то игра случая, а затем серьезно занялись их изучением и обратили внимание на то, что во время работы машин неко-

торые их детали и агрегаты оказываются неуравновешенными. В качестве примера неуравновешенности можно привести вращение наждачного круга около своей оси. Если ось вращения полностью совпадает с геометрической осью диска, то никаких особых явлений при его вращении не произойдет. Если же ось вращения отстоит от геометрической оси хотя бы на ничтожное расстояние, то круг начнет «бить». Если же начать увеличивать обороты круга, то возрастет и биение, и в определенный момент силы сцепления материала окажутся меньше центробежной силы и круг разорвет.

То же самое явление происходит и со всеми вращающимися частями всех машин. Особенно ярко оно проявляется в паровой машине и в других машинах, основой которых служит кривошипно-ползунный механизм. Ведь даже если не рассматривать шатун, ось вращения кривошипа отстоит на значительном расстоянии от оси, проходящей через его центр тяжести. Значит, «биения» тут неизбежны, и поэтому вопросами уравновешивания паровых машин ученые и инженеры вынуждены были заняться вплотную, когда нежелательные помехи в связи с повышением скоростей значительно увеличились. А поскольку нет ни единой машины, в которой не было бы вращающихся частей, то, очевидно, уравновешивание вращающихся масс оставалось очень важной проблемой механики машин (впрочем, в некоторых машинах, например в центрифугах, научились использовать и свойство неуравновешенности вращающихся масс).

Обратим внимание еще на одно свойство машин. Оно было замечено еще в конце прошлого века, когда русский ученый Иван Васильевич Мещерский начал изучать механику переменных масс. Сперва это учение в основном применялось к движению ракет, хотя и сам Мещерский обращал внимание на некоторые его применения к машинам. Как показали исследования советских ученых, в очень многих машинах оказалось необходимым учитывать изменения массы в процессе движения, поскольку в практике машиностроения встречаются механизмы со звеньями, имеющими переменную массу, с переменным положением центра тяжести, с движением масс относительно самого звена.

Кроме того, существуют механизмы с переменной массой, вибрационные механизмы, важнейшим движением которых являются колебания. С колебаниями ученые познакомились давно, их изучал еще Галилео Галилей. Христиан Гюйгенс изучал колебания применительно к часовому механизму, а Роберг Гук вообще считал, что все явления в мире сводятся к колебательным процессам.

Колебания как явление начали изучать в XVIII в. В сущности, если не учитывать колебания маятника, то первыми исследовались колебания струны. Затем перешли к расчету колебаний пружин, и уже в XIX в., когда вопросы прочности зданий и сооружений породили учение о сопротивлении материалов, начали изучать и колебания строительных деталей опять-таки с точки зрения их прочности. Физиками были изучены колебания в акустике, оптике, элекротехнике и, наконец, в радиотехнике. Все они в какой-то степени раньше или позже нашли свое место и в учении о машинах. Однако механические колебания деталей машин начали изучать значительно позже и сперва в связи с неуравновешенностью отдельных деталей и агрегатов, о которой речь была выше. Уже в начале XX в. было установлено, что колебания в машинах могут быть вредными как для людей, так и для самой машины, а кроме того, для сооружений, расположенных вблизи нее. Но тогда же заметили, что колебательные процессы можно также использовать для исполнения определенных технологических операций. На колебательном принципе строились «соломотрясы», «грохоты» и другие подобные машины.

Механические колебания могут быть свободными и вынужденными. Так, если раскачивать маятник сначала медленно, а затем все быстрее, то при возрастании числа толчков маятник начнет раскачиваться с возрастающей амплитудой, и при совпадении числа толчков с числом свободных колебаний маятника амплитуда достигнет максимума: случай совпадения периодов свободных и вынужденных колебаний называется резонансом. Если же маятнику передаются слишком быстрые колебания, то он практически остается в покое. Подобное явление наблюдается и в живом организме. Примером может служить напряжение руки

человека, стремящегося сдвинуть слишком большой груз. При этом, несмотря на то что груз не сдвинулся, мускулы очень быстро начинают уставать вследствие того, что они выполняют работу внутри организма. Такая работа стимулируется очень быстрыми импульсами, и это действие сравнимо с явлением вынужденных колебаний.

Вибрации как вид движения, используемый в механизмах, нашли новое применение во второй половине нашего века. По мнению ученых, машины, основанные на вибрационном принципе действия, определят развитие технологии будущего. Машины этого типа имеют характерные особенности: в их структуру обязательно вводятся упругие элементы для предотвращения последствий больших перегрузок.

Таким образом, машины могут работать в условиях различного рода динамических воздействий. По разным причинам — при неравномерной подаче рабочего тела, снижении или, наоборот, увеличении рабочей нагрузки — им приходится постоянно переходить из одного рабочего режима в другой, а это чревато тяжелыми последствиями. Поэтому вопрос о регулировании их работы ставился издавна и решался различным образом.

Существуют два рода причин, нарушающих равномерность движения машин: внутренне конструктивные и внешние, зависящие от неравномерности подачи рабочего тела и от изменения рабочей нагрузки. Для регулирования хода машин в первом случае обычно ставят маховики. Изображения маховиков можно найти в различных руководствах, вышедших еще два века назад. Пожалуй, первую справку о маховике опубликовал в 1810 г. французский инженер А. Гениво. По его словам, «к вращающимся машинам добавляют одно или два очень тяжелых колеса (из литой стали), которые называются маховиками». Они служат для увеличения массы машины, что обеспечивает сохранение равномерности движения, когда действие двигателя или сопротивления прерывается и создает противодействие резкому изменению скорости, которое могло бы привести к поломке машины. Маховики устанавливаются на всех машинах, движение которых должно быть равномерным, а скорость — постоянной. В описании со-

держался совет рассчитывать маховики, умножая каждую элементарную массу на квадрат ее расстояния до оси, и придавать маховикам возможно большие размеры.

На протяжении полутора веков шли поиски оптимального расчета маховика. Как оказалось, эта задача не проста, и поэтому при ее решении пришлось вводить некоторые упрощающие задачу предположения. Так, первый метод расчета маховика предложил видный французский инженер, один из основоположников учения о сопротивлении материалов Анри Навье. Он окончил Политехническую школу и Школу мостов и дорог, а затем в них преподавал. По его предположению, к кривошипу, составляющему одно целое с маховиком, приложена некоторая постоянная сила, действующая извне попеременно в одну и в другую сторону. Коромысло и поршень он считал лишенными массы, а длину шатуна — бесконечно большой. Сам расчет проводился на основе закона живой силы.

Значительные усовершенствования в расчет маховика внес другой выпускник Политехнической школы и также затем преподававший в ней Гюстав Гаспар Кориолис. Исходя из уравнения движения машины, он составил графическое решение задачи о маховике. Он не принимал во внимание массы шатуна, и весь расчет поэтому сводился к расчету приведенных масс поршня и коромысла. Паровые машины с коромыслом занимали важное место в стационарных установках, а затем от этой конструкции постепенно отказались. Однако те принципы, которые положил Кориолис в основу своего расчета, оказались наиболее приемлемыми, и их повторил уже в начале нашего века австрийский механик Фердинанд Виттенбауэр.

В сущности, идея регулирования хода машины с помощью маховика существовала еще до изобретения паровой машины. В частности, маховик встречается среди механических приспособлений Леонардо да Винчи, который применил его к станку, приводимому в движение с помощью рукоятки. Как уже говорилось, первые паровые машины служили для откачки воды из шахт, поэтому они были спарены с насосом и не требовали маховика по причине очень медленного действия. В тех же случаях, когда их пытались ис-

пользовать в качестве двигателя каких-либо станков, роль маховика выполнял гидравлический трансформатор: поршень машины при помощи коромысла приводил в движение поршень насоса, подававшего воду на лопасти верхнебойного колеса, которое и обеспечивало равномерное вращение.

Изобретатель парового двигателя Джеймс Уатт не смог сразу использовать кривошипно-ползунный механизм в качестве основного механизма своей машины, поскольку оказалось, что некий Джеймс Пиккард из Бирмингема уже получил патент на применение коленчатого вала как способа приложения паровой машины к «вращению колес». Несмотря на то что, по образному выражению Уатта, применение такого вида к машине «было подобно применению ножа, предназначенного для резки хлеба, к резке сыра» вплоть до окончания действия этого патента, изобретатель вынужден был применять для вращательного движения иные механизмы. Правда, он мог опротестовать патент, полученный на слишком старое и известное изобретение, но он, вероятно, боялся, что в этом случае могут быть поставлены под сомнение и некоторые его собственные патенты. (Существует мнение, что все-таки несколько машин, снабженных коленчатым валом, было выпущено Уаттом и до окончания срока действия патента).

В 1779 г. Мэтью Уозброу, инженер из Бристоля, получил патент на некоторые улучшения в конструкции «огневой машины». Для преобразования поступательного движения поршня он пользовался храповым механизмом, а на одну ось с храповым колесом насадил маховик. Это было первое применение маховика в практике построения паровых машин, и оно оказалось настолько удачным, что автор получил заказ на изготовление нескольких машин такого типа. Однако храповой механизм постоянно выходил из строя, и через год на одной из машин был поставлен кривошипно-шатунный механизм с маховиком. С этого времени маховик уже не покидал паровую машину.

В 1784 г. Джеймс Уатт построил на заводе в Сохо свою первую машину с двумя усовершенствованиями. Здесь он впервые применил центробежный регулятор и планетарную передачу. Последняя была им изобретена на два года раньше именно в целях преобразова-

ния поступательного движения во вращательное. Маховик заклинивался не на валу кривошипа, а на втулке зубчатого колеса, свободно надетой на оси кривошипа, благодаря зацеплению с зубчаткой шатуна, вращающейся примерно в два раза быстрее кривошипа. По словам изобретателя, «это устройство имеет большое преимущество: давая двойную скорость маховику... оно уменьшает в четыре раза вес его обода». Это обстоятельство использовали и некоторые его последователи, предпочитавшие заклинивать маховик не на коренном валу паровой машины, а на валу зубчатого колеса, сцепленного с коренным валом, в результате чего значительно повышалась равномерность работы станков, приводимых в действие паровой машиной.

Однако, как бы ни ставился маховик, во всех случаях он остается тяжелой деталью, и чем больше его вес, тем равномернее вращение машины. Поэтому не всегда такая громоздкая деталь вписывалась в общие габариты машины. К тому же при этом увеличивалась работа сил трения. Эту задачу можно было бы решить увеличением диаметра маховика, что могло существенно его облегчить. Вес обода можно было бы сделать достаточно легким, но при этом увеличится линейная скорость обода и, следовательно, возрастут центробежные усилия, которые могут превзойти те, которые являются допустимыми для материала. Кроме того, габариты машины при этом значительно увеличатся.

Поэтому наиболее приемлемым решением вопроса представлялось конструирование двигателей таким образом, чтобы на коленчатый вал действовали шатуны нескольких цилиндров. К подобному решению шли при сооружении локомотивов, к нему же пришли и в авиации, и автомотостроении. Что касается расчета маховых масс, то здесь было предложено несколько решений. Мы уже упоминали метод Виттенбауэра, основанный на построении кривой зависимости приращения кинетической энергии от приведенной массы звеньев механизма. Но принципиальная точность этого метода оказалась лишь кажущейся, так как довольно сложные построения приводят в результате к значительным ошибкам и становятся менее точными, чем приближенные способы.

Ученик Н. Е. Жуковского Николай Иванович Мерцалов в 1914 г. предложил метод, при котором нахождение положений ведущего звена механизма по соответствующим максимальной и минимальной его скоростям достигается построением основной диаграммы приращения кинетической энергии и двух диаграмм приращения кинетической энергии от приведенных масс, подсчитанных для крайних значений скорости ведущего звена.

В 1943 г. свой точный метод предложил И. И. Артоболевский: для определения маховых масс строится диаграмма тангенциальных сил, или моментов, из которой находится работа движущих сил за полный цикл, после чего из уравнения «живых сил» получается величина момента инерции махового колеса. Эти исследования показали, какое значение может иметь глубокое количественное и качественное исследование уравнения движения машины. На протяжении ряда лет школа Артоболевского занималась изучением этого уравнения, и были получены в этом отношении весьма существенные результаты, давшие многочисленные выходы в практику.

Еще более важным и перспективным оказался второй способ регулирования хода машин для тех случаев, когда причины, нарушавшие правильность хода, были внешними по отношению к машине. Мы видели, что уже в паровой машине был поставлен центробежный регулятор. История регулятора начинается в XI или XII в., когда на ветряных мельницах начали ставить приспособление, предохраняющее муку от сгорания в случае очень сильного ветра. Регулятор применялся на паровых машинах в XVIII в. В патенте на паровую машину двойного действия был предусмотрен механический центробежный регулятор, управляющий поступлением пара в цилиндр машины. С этого времени, в сущности, и начинается история внедрения автоматического регулирования, которое внесло в структуру машины первый элемент управления. Подобные регуляторы применялись в XVIII в. и даже в начале XIX в.

Но уже к середине прошлого века появились мощные быстроходные паровые машины, характер регулирования хода которых принципиально изменился. В старых машинах были большие маховики и легкие

регуляторы со значительным коэффициентом неравномерности, в новых — размеры и вес маховиков уменьшились, а требования к точности регулирования повысились. Но решение этой задачи оказалось непростым: ее пробовали решать путем уменьшения трения, однако это влекло за собой нарушение условий устойчивости. Предполагалось также, что задачу можно решить путем уменьшения коэффициента неравномерности, изменяя конструкцию регулятора в сторону приближения к астатическому регулятору с коэффициентом неравномерности, равным нулю.

Одним из первых пытался решить задачу регулирования английский астроном и изобретатель Джордж Бидделл Эри. Он предложил присоединить к муфте конического регулятора особый водяной катаракт, развивающий силу трения, пропорциональную скорости муфты, что должно ликвидировать вредные колебания регулятора. Однако теории регулятора с катарактом создать ему не удалось.

Знаменитый английский физик, создатель электродинамики Джеймс Клерк Максвелл также рассмотрел ряд задач об устойчивости машины. Развивая теорию малых колебаний некоторой движущейся системы, он пришел к выводу, что выбор регуляторов астатического типа предпочтительнее. Но это исследование было чисто теоретическим и не дало результатов, нужных для инженеров.

Классическое решение этого вопроса дал русский ученый Иван Алексеевич Вышнеградский, один из основоположников учения о машинах. Следуя совету своего учителя Михаила Васильевича Остроградского, который рекомендовал всегда объединять теорию с практикой, он получил фундаментальные результаты в теории машин. В области теории регулирования он также подошел к решению этой задачи практически, доказав, что как раз астатический регулятор не пригоден для регулирования. В результате им были сформулированы знаменитые тезисы: «без неравномерности нет регулятора»; «без катаракта нет регулятора».

Благодаря этим исследованиям было не только найдено решение основной задачи теории регулирования, но и выяснено ее место в учении о машинах. Стало ясно, что машина и регулятор представляют собой еди-

ное целое и что при переходных режимах возможно самораскачивание всей системы.

Продолжил исследования в области теории автоматического регулирования словацкий инженер и ученый Аурель Стодола. Он изучал и решал задачу непрямого регулирования. В своей работе, посвященной прямому регулированию и опубликованной в конце XIX в., он исследовал регуляторы, в которых осуществляется так называемое воздействие по производной. Сначала он распространил на эти регуляторы теорию Вышнеградского. Затем очень простым приемом он учел влияние сухого трения и тем самым решил нелинейную задачу. Наконец, он точно установил преимущества и недостатки плоских регуляторов, в которых для перестановочного усилия используются как центробежные, так и тангенциальные силы инерции.

Как правило, регулятор является механизмом с двумя степенями свободы. Так, например, если он должен регулировать подачу пара к паровой машине, то при увеличении количества подаваемого пара он срабатывает и частично перекрывает впускное отверстие, тем самым уменьшая это количество.

Мы остановились на работах словацкого инженера. Естественно, что на них исследования в области теории автоматического регулирования не закончились. В дальнейшем этими проблемами занимались и другие механики. Существенный вклад в теорию регулирования был сделан и французскими учеными.

В настоящее время применяются разнообразные по своей конструкции регуляторы: центробежные, плоские и пространственные, инерционные, регуляторы электрического типа. Принципиально новыми являются регуляторы с вычислительными устройствами, преимущества которых выявились в так называемых самонастраивающихся системах.

«Самоуправление» машины и элементы автоматизации технологического процесса имеют также длительную историю. Если не принимать во внимание различных устройств, использованных при сооружении механических кукол, то эту историю можно было бы начать с изобретения, о котором уже говорилось выше. Сущность этого изобретения заключается в установке перфорированной призмы, через которую прохо-

дят иглы, предварительно пропускаемые через отверстия картонных карт. Другим прообразом автоматизации стали составление последовательности требуемых операций в виде циклограммы и конструирование отдельных механизмов, выполняющих технологические операции в соответствии с этой циклограммой. Третьим основополагающим изобретением следует считать создание программ для вычислительной техники, прообраз которых родился еще в первой четверти прошлого века.

Дальнейшим этапом развития машин стало создание механических систем, управляемых ЭВМ. Вне зависимости от того, в какой степени компьютер может выполнять предписанные технологические функции, точность выполнения операций будет продолжать расти. Естественно, что возможны «сбои» в работе искусственного мозга, ведь и человек, выполняющий сложную операцию, может ошибаться, несмотря на то что его мозг является объектом несравненно более мощным, чем любой искусственный интеллект. Однако можно сказать, что работа автоматического устройства как угодно близко подходит к идеальной, и его безошибочное действие весьма вероятно. Ошибка может быть функцией или неучтенных обстоятельств при создании и сооружении автомата, или какой-либо внешней причины, зависящей от ближайшей или отдаленной среды, которая может повлиять и на машину, и на исполняемую ею работу.

Все это опять-таки приближает машину к человеку и заставляет использовать при изучении ее поведения результаты не только физики и механики, но и целого ряда естественных наук, включая даже биологию, с чего, впрочем, и начали творцы кибернетики.



5

МАШИНЫ. Настоящее и будущее (вместо заключения)

С первых времен своего становления машины вошли в несколько противоречивые отношения с человеком. Иначе не могло и быть, ведь в основу их создания легли две взаимно исключающие цели: улучшение условий жизни человека и уничтожение его во время военных действий. Исходным объектом в том и другом случае была палка, служившая или как подъемный рычаг, или как «холодное оружие». Более близкими предшественниками машин явились ручная мельница и подобные приспособления, с одной стороны, лук со стрелами и праща — с другой. И наконец, история машин начинается с изобретения водяной мельницы (непрерывного действия) и военных машин (дискретного действия). Может быть, поэтому и на ремесло «механика» смотрели в те времена без особого почтения.

Два направления развития машинной техники проходят рядом, как мы видели, на протяжении многих столетий. Постройкой мирных и военных машин занимались в Древней Греции. В широком диапазоне

машинного творчества эпохи Возрождения мы находим на ряду с машинами, предназначенными для удовлетворения тех или иных человеческих потребностей, довольно сложные проекты военных машин. С зарождением промышленности намечается большая специализация, и те и другие машины развиваются самостоятельно, лишь заимствуя друг у друга некоторые механизмы, а изредка и «кадры специалистов». Тогда же в направлении сооружения машин чисто мирного применения возникает новое противоречие: оказывается, что машины мешают людям жить. Так произошло, например, с паровой машиной, предназначенной для самоходного судна. Судно было построено, и первые испытания показали хорошие качества изобретения Дени Папена. Однако против первого в мире парового судна выступили лодочники: они боялись, что механическое судно отнимет у них заработок, и разбили машину вместе с судном. Средств у изобретателя на сооружение нового судна более не было, и человечество получило пароход лишь через сто лет после первого эксперимента.

Промышленный переворот также затронул многих людей, зарабатывавших ремеслом: начинается борьба против машин. Спорадические выступления участников этого движения продолжались на протяжении нескольких десятилетий. Так, новая вспышка движения произошла уже в начале прошлого века в Англии. Сперва очень благоприятная конъюнктура произвела подъем домашнего ткачества, но в связи с началом наполеоновских войн и неурожаем спрос на хлопчатобумажные изделия резко сократился, и около пятисот тысяч ткачей, оказавшихся на грани нищеты, начали присоединяться к движению луддитов.

В движении «разрушителей машин», в котором участвовали уже рабочие и ремесленники разных специальностей, проявились некоторые новые черты. До того времени чулки вырабатывали ремесленники высокой квалификации, но они начали терять рынок сбыта, так как на рынке появились чулки машинной выработки, значительно худшего качества, но зато более дешевые, поскольку фабриканты использовали грошовый детский труд. Возмущение было обращено на машины, в которых видели все зло, а правительст-

во ответило законодательным актом, по которому за поломку машин полагалась смертная казнь, которая до того времени присуждалась лишь за человекоубийство.

Опасность превращения людей лишь в придатки полумеханизированного производства ощутили и представители интеллигенции. Не случайно одним из немногих членов парламента, выступивших в защиту луддитов, стал великий английский поэт Джорж Гордон Байрон. В своем выступлении в Палате лордов он сказал, что даже смертное наказание за разрушение машин может оказаться недейственным, если оно сделает людей безразличными к той жизни, которую парламент оценил «дешевле цены чулочной машины». Его выступление осталось без поддержки. Но игрой судьбы его дочь, Августа Ада Лавлейс, будучи математиком по призванию, помогала Чарльзу Беббиджу в его работе над созданием вычислительной машины и даже составила для нее программу, став таким образом первым программистом в истории науки.

Писатели и художники прошлого столетия старались не замечать машины, которые развивались рядом с ними. Впрочем, этого нельзя сказать о карикатуристах, которые напрягали все свое остроумие, чтобы посмеяться над машиной. В основном их насмешки были направлены на средства транспорта. Положение несколько изменилось к концу века, когда машины начали появляться на картинах художников. Но если не считать упоминавшегося уже «Железопрокатного завода», художники редко изображали «царство» машин. Вероятно, лишь Хит Робинсон, творец «вздорных» машин, отнесся к ним не как к враждебной силе, а очень интересный французский писатель и художник А. Робида в своей книге «Двадцатый век» попробовал пройти по стопам писателей-фантастов и взглянуть в технику будущего. Кое-что в этом отношении ему удалось. Он как бы предсказал телевидение, кино, даже авиацию, хотя в формах, близких по духу второй и третьей четверти прошлого века. Но, конечно, развитие моды ему предсказать не удалось.

Были поэты и среди тех, кто занимался механикой, впрочем, искать их пришлось бы среди инжене-

ров. Таким был и замечательный русский ученый-механик Виктор Львович Кирпичев. Как бы отвечая на выход в свет повести А. И. Куприна «Молох» (написанной в результате работы писателя на рельсопрокатном заводе в Донбассе), ученый в одной из своих речей говорил о том, что взгляды на машину как на темную силу, требующую иногда человеческих жертв, «не могут разделяться инженерами, которые сами делают машины и другие сооружения, заводы, железные дороги, воплощая свои творческие мысли в формы, сделанные из железа и камней». По его словам, инженер «никогда не согласится считать машину или каменную постройку господином, которому должны служить люди, как идолу, или допустить, что иногда необходимы жертвы этому чудовищу». В дальнейшем ученый писал о том, что из всех наук наибольшая сила фантазии требуется в математике, и подтверждением этому служит тот факт, что среди математиков так много изобретателей, а разнообразие тем и задач, выдвигаемых ими, «очень интересно и поучительно изучать».

Эти тезисы о значении машин для культуры и о значении математики для дальнейшего развития машин, высказанные на рубеже двух столетий, полностью подтвердились. Наше существование становится немыслимым без машин, и иногда мы просто не замечаем, как глубоко вошли они в нашу жизнь. Мы живем в домах, собранных с помощью строительных кранов из конструкций, изготовленных на заводе. Все электрооборудование, детали водопровода, газопровода — также машинного производства. Машины сделали бумагу, на которой напечатаны обои, и напечатали на них рисунок. Вся мебель в квартире — продукция деревообрабатывающих цехов. Наша одежда и обувь сшиты на машинах из материалов машинной выработки. Газеты, журналы и книги, которые мы читаем, напечатаны на полиграфических машинах. Этот список потребности человека в том, что производят машины, можно продолжить, и он будет очень длинным...

Но вместе с тем и сами машины являются продуктом очень разнообразного человеческого труда. Если вспомнить, например, создателей ракеты, которая до-

ставляет космонавтов на космическую станцию, то окажется, что она — воплощение труда многих людей и в нее вложен труд всего народа. То же самое можно сказать и о других, менее сложных машинах. Этим и отличается эпоха научно-технической революции от всех предыдущих периодов человеческой истории. Если когда-то давно могло случиться, что некий древний мастер, нашедший железную руду, принес ее к себе домой, нагрел в горне, выковал нож и обменял его на зерно, то теперь в изготовлении подобного ножа принимают участие люди самых разнообразных профессий.

Вернемся ко второму тезису, т. е. остановимся на взаимоотношениях механики и математики, имеющих столь длительную историю. В отличие от других естественных наук, в которых для доказательства определенных утверждений постоянно приходится обращаться к опыту и наблюдению, в математике чаще всего оперируют абстрактными понятиями. Доказать теорему для математика— означает вывести ее путем рассуждений из начальных свойств, присущих тем понятиям, которые фигурируют в этой теореме, абстрагируясь от реально существующих объектов. Поэтому иногда говорят о чистой и прикладной математике и различают эти два направления науки. Это не совсем правильно: математика едина, а взаимоотношения между этими ее двумя направлениями лишь отражают те сложные зависимости между теорией и практикой, которые возникают в любой науке, в каждом направлении человеческой деятельности. Конечно, прикладная математика ближе к практике, ибо она представляет математическое обеспечение науки и техники, в частности и машиностроения. Это объясняется в некоторой степени ее относительной гибкостью и способностью быстро развертывать математический аппарат, необходимый для конкретных приложений. Но «во втором эшелоне», если так можно выразиться, находится теоретическая математика, которая иногда оказывается «прикладной» по отношению к прикладной математике.

Одной из характерных особенностей современной математики является глубокий анализ ее основ, анализ взаимозависимости ее понятий, структуры ее тео-

рий, анализ способов математических доказательств и выводов.

И наконец, характерная особенность математики, присущая лишь ей и существенно отличающая ее от других естественных наук, заключается в том, что почти все науки менялись в части законов, методов и содержания, а математика практически не потеряла ничего из того, что было ею приобретено за тысячи лет ее существования. Поэтому при изучении, конструировании и построении машин, а также в вопросах их эксплуатации мы пользуемся не только современной математикой, но также и математикой, созданной в прошлых столетиях.

Применение математики к решению проблем учения о машинах, математизация этой отрасли знания, остается очень непростым делом. Образцом в этом отношении не может служить, например, механика или математическая физика. Эти науки имеют дело с объектами и явлениями, которые в течение весьма длительного времени не меняются или постоянно повторяются во времени и в пространстве. Этого нельзя сказать о «царстве» машин. Возникнув около двух с половиной тысяч лет назад, за такой относительно короткий срок эволюции машины «пережили» по крайней мере два революционных периода, в результате которых возникли их принципиально новые типы. Поэтому, для того чтобы найти общие методы исследования машин и построить соответствующие математические модели, необходимо было прежде всего создать теоретическое учение о машинах, т. е. теорию механизмов и машин. В результате большой и напряженной работы нескольких поколений механиков, среди которых особое место занимают отечественные ученые П. Л. Чебышев, Н. Е. Жуковский, Л. В. Ассур, В. П. Горячкин, Н. И. Мерцалов, В. В. Добровольский, И. И. Артоболевский, эта важная задача в определенной степени была выполнена.

Это то, что касается машин вчерашнего и сегодняшнего дня. Но ведь необходимы машины следующих поколений, и наука должна это предвидеть и предсказать те математические методы, которые дадут возможность познания и создания новой машинной техники.

Важная роль в этом отношении принадлежит электронно-вычислительной технике. Проблемы автоматизации, которые стали важнейшим направлением развития научно-технической революции, стимулировали создание и развитие новых систем машин автоматического действия. Современные задачи машиностроения, как оказалось, могут быть решены лишь с помощью математики и с привлечением не только ее наличных средств, но и при разработке новых, лучше отвечающих специфическим особенностям задач.

Теория машин автоматического действия возникла на базе идей механики машин и теории управления. Причем последняя сама отделилась от теории регулирования, лишь в первой половине нашего века став самостоятельным научным направлением. В 40-х годах происходило становление кибернетики, которая не только заимствовала много идей от теории управления, но и внесла в нее много новых идей и методов. Примерно в то же время происходило становление вычислительной техники, если не касаться уже упомянутых работ Чарльза Беббиджа и идей испанского ученого Леонардо Торреса де Кеведо, который в конце прошлого века предложил использовать в вычислительной машине электромагнитное реле.

Прошло почти полстолетия, пока идея создания вычислительной техники не была осуществлена практически. Практические разработки в этой области финансировались военными, и в годы войны сведения о них были скудными.

Как уже говорилось, в США в 1944 г. была создана машина Марк-1 с программным управлением; в ней и были использованы электромагнитные реле. Эта машина была подарена Гарвардскому университету и работала там около 15 лет. В том же году была предпринята разработка более мощной элктромеханической машины, которая и была построена через два года. Эта машина по некоторым источникам весила около 10 т и занимала площадь около 90 м^2. Она производила операции над семиразрядными числами со следующими скоростями: сложение и вычитание — 0,3 с, умножение — 1 с, деление — 2,2 с. Было известно еще несколько машин такого же типа: в сущности, это были уже вычислительные машины, с их помощью нужно

было составлять математические таблицы, выполнять все четыре арифметических действия, дифференцировать и интегрировать, интерполировать с учетом разностей разных порядков, суммировать и умножать ряды, производить вычисления методом наименьших квадратов и методом последовательных приближений и некоторые другие. Однако скорость выполнения операций была незначительной. Это обстоятельство, в сущности, и прекратило дальнейшее развитие машин этого типа.

Первой машиной другого типа, т. е. электронной машиной, была ЭНИАК, построенная в США в 1945 г. В ее структуре были использованы электронные лампы, и это обстоятельство дало возможность значительно повысить быстродействие машины: в среднем оно в тысячу раз превышало скорость электромеханических машин.

Первая советская машина такого же типа — так называемая малая электронно-счетная машина (МЭСМ) — была построена в 1950 г. в Киеве под руководством Сергея Александровича Лебедева. Через два года под его же руководством в Институте точной механики и вычислительной техники АН СССР была построена большая электронно-счетная машина (БЭСМ). В первой машине использовались шесть тысяч электронных ламп, а скорость ее работы составляла в среднем пятьдесят операций в секунду.

Еще через год было начато серийное производство отечественных электронно-вычислительных машин. Первой машиной, запущенной в серию, стала «Стрела» с быстродействием около двух тысяч операций в секунду. В машине было использовано еще большее число электронных ламп.

В последующие годы над созданием новых типов машин работали несколько коллективов в разных городах страны. Некоторые из этих машин выпускались серийно. Особое распространение в те годы получила машина «Урал». Эта машина появилась в высших учебных заведениях, в научно-исследовательских институтах, на предприятиях. В машине было использовано восемьсот электронных ламп, а скорость ее работы составляла сто операций в секунду. Такими были первенцы первого поколения вычислительных быстро-

действующих машин. Несмотря на то что уже в конце 50-х годов были разработаны безламповые модели, совершенствование и сооружение ламповых машин продолжались еще вплоть до середины 60-х годов.

Первые транзисторные вычислительные машины были выпущены почти одновременно в 1958 г. в США, ФРГ и Японии. По вычислительным возможностям эти машины превосходили все выпущенные до того времени модели ламповых машин. Постепенно усложняется их структура, и в 60-х годах разрабатываются новые машины, основной идеей создания которых было мультипрограммирование, иначе говоря, многопрограммный принцип работы. Эти машины второго поколения обладали новыми характеристиками и по качеству работы, и по удобству в обращении с ними. В среднем по габаритам эти машины были раз в сто меньше машин первого поколения, они потребляли в сто раз меньше энергии, а их быстродействие возросло в тысячу раз.

Мультипрограммирование структуры означало, что машина могла одновременно выполнять команды различных программ, хранящихся в ее запоминающем устройстве. Весьма существенным было также и то, что значительно повысилась производительность труда. Это обеспечивалось и самой программой работы машины. Значительное повышение быстродействия вело к тому, что стоимость простоя машины постоянно возрастала. Поэтому введение мультипрограммирования дало возможность в случае необходимости приостановить решение задачи, избегая при этом дорогостоящего простоя машины.

Переход к машинам второго поколения происходил в основном в течение 4—5 лет, и к концу этого периода машины первого поколения уже оказались в меньшинстве, хотя некоторые из них и продолжали работать. При этом расширилось и поле их деятельности. Если первые ЭВМ применялись для решения сложных математических задач, то теперь машины начинают решать и разнообразные хозяйственные задачи. Количественно эти задачи начинают превалировать. Так, к середине 60-х годов до 80% машин, работавших в капиталистических странах, использовались в составе различных информационных систем — в банковском

деле, в промышленности, на транспорте, в сфере обслуживания, в торговле. Это обстоятельство повлияло и на структуру машин, и на разработку соответствующего оборудования, и на разработку стандартных программ.

Кроме машин универсального назначения второго поколения, начата была и разработка конструкции таких машин, которые можно было бы включить в общую структуру крупных машинных устройств, в системах военной техники, в системах управления самолетом, в системах аэрокосмического назначения и управления непрерывными технологическими процессами.

В нашей стране первые безламповые машины («Сетунь») были созданы в 1959—1961 гг. Быстродействие их постоянно повышалось. Так, первая советская машина этого типа, запущенная в серийное производство («Раздан-2»), выполняла пять тысяч операций в секунду. С 1963 г. был начат выпуск машин типа «Минск», которые к 1968 г. увеличили свое быстродействие до шести с половиной тысяч операций в секунду.

В 1966 г. в Институте точной механики и вычислительной техники была построена машина БЭСМ-6, выполнявшая уже миллион операций в секунду. Машина была оборудована четырьмя независимыми пультами управления.

В том же году в Киеве в Институте кибернетики АН УССР под руководством Виктора Михайловича Глушкова была построена малая универсальная машина «Мир», а в 1969 г. был создан ее второй вариант. Здесь взаимодействие человека с машиной было упрощено для облегчения производства инженерных расчетов. Машина «Мир-2» включала уже устройство визуального отображения информации, в состав которого входили световое перо и экран на электронно-лучевой трубке.

Для систем управления непрерывными процессами в конце 60-х годов были разработаны машины типа «Днепр». В частности, машина «Днепр-2», выполнявшая до пятидесяти тысяч операций в секунду, имела в своем составе центральное устройство обработки данных, управляющий комплекс, предназначенный для

приема информации от управляемого объекта, и комплекс периферийных устройств.

Вскоре, однако, устарели и эти машины. Развитием науки и техники перед конструкторами вычислительных машин были поставлены и новые задачи. Достигнутых скоростей быстродействия было уже недостаточно. Для этого нужно было опять менять структуру машин. В качестве нового структурного элемента появляются интегральные схемы-пластинки площадью в несколько десятков квадратных миллиметров, на которых размещаются тысячи транзисторов, резисторов, конденсаторов, диодов и других составных элементов машин. Применение интегральных схем обусловило появление цифровых вычислительных машин третьего поколения, выполнявших более миллиона операций в секунду, с малыми габаритными размерами, с высокой надежностью действия. Объем памяти машин третьего поколения вырос по сравнению с машинами второго поколения в тысячи раз и во столько же раз снизилось потребление энергии. Еще большие возможности приобрели машины нового поколения, быстродействие которых достигло нескольких десятков и сотен миллионов операций в секунду. В этих системах с громадным объемом памяти диалог человека с машиной приобретает новые формы. В то же время габариты машин быстро падают, а управление ими существенно упрощается.

Так возникли машины нового качества, такие, которые смогли заменить некоторые элементы человеческой памяти и принять на себя часть его психической работы. Но следует отметить, и это весьма существенно, что машина все же остается машиной и ее назначение — помочь человеку и заменить его в тех операциях, которые по какой-либо причине находятся вне человеческих возможностей.

Для того чтобы применить вычислительные быстродействующие машины для управления производством, надо, чтобы и само производство достигло определенной степени организации, т. е. автоматизации всех основных производственных процессов и механизации трудоемких и тяжелых работ. Следует напомнить, что существует качественное различие между обычной технологической машиной и машиной автоматического

действия. Автоматизация всех операций, производимых машиной, полностью выключает оператора из технологического процесса. При этом изменяется и взаимосвязь механизмов: становится возможным значительно сократить длительность простоя и перестроить выполнение технологических операций таким образом, чтобы максимально уплотнить рабочее время. За оператором остаются лишь функции контроля и обслуживания, и это обстоятельство оставляет возможности для дальнейшего совершенствования машины.

Другим важным условием автоматизации остается создание более совершенного инструмента или того агрегата, на который и возлагаются технологические функции машины. Оба эти условия взаимосвязаны: введение в практику новых более совершенных рабочих органов стимулирует разработку более совершенных механизмов, а это влечет за собой дальнейшую экономию времени.

Процесс автоматизации имеет «скачкообразный» характер. Всякий раз, когда повышение технологической производительности приближалось к тем значениям, когда становилось бессмысленным дальнейшее ее увеличение, на смену появлялась новая машина. Она давала более высокую производительность благодаря частичной или полной автоматизации рабочего процесса. Это, в свою очередь, порождало новый скачок в повышении технологической производительности, который требовал дальнейшего развития — совершенствования исполнительного механизма за счет сокращения затрат времени.

В настоящее время машины автоматического действия работают в самых различных отраслях промышленности — в машиностроении, металлургии, полиграфии и т. д. Автоматы различаются не только по виду промышленности. Как правило, они являются машинами специализированного назначения в отличие от универсальных машин и станков, поэтому какое-либо производство может иметь значительно больше автоматов, чем оно имело бы универсальных машин.

Однако, несмотря на большое различие технологических процессов и машин автоматического действия, обслуживающих какой-либо технологический процесс, их структура остается принципиально подобной, а все

видоизменения заключаются в комплектах механизмов, предназначенных для выполнения операций рабочего цикла, в способах крепления обрабатываемого материала и обрабатывающего инструмента. Во всех машинах автоматического действия имеются группы механизмов, выполняющих подобные функции: распределительный вал с системой кулачковых механизмов, предназначенных для выполнения операций раточные механизмы, передающие движение от распределительного вала, поворотно-фиксирующие механизмы, механизмы питания, механизмы управления, механизмы привода. Эти группы механизмов свойственны почти всем технологическим машинам автоматического действия. Такое подобие в структуре — следствие того, что в основу создания автоматов положены цикличность работы и автоматизация рабочих и холостых ходов.

С точки зрения использования рабочего времени различаются автоматы непрерывного и дискретного (прерывистого) действия. В первом случае весь технологический процесс представляет собой поток, в который поступают сырье и заготовки и который завершается выходом готовой продукции, и поэтому автоматы непрерывного действия по своим качественным характеристикам лучше автоматических машин прерывного действия.

Тем не менее производственные операции, в результате которых получается определенная продукция в виде изделий или же непрерывных лент выработанного материала, не могут обеспечить завершение производственного процесса, если его конечным результатом является сложное изделие, состоящее из большего или меньшего числа разнородных собранных вместе деталей и испытанное на пригодность в конечном виде. Нужна еще автоматизация подачи изделий и материалов, автоматизация сборки. Во многих случаях производственной практики нужна еще механизация и автоматизация трудоемких и тяжелых работ.

Есть и специальные случаи: сборка готового изделия может производиться при очень больших скоростях, превышающих возможности операторов и их внимательность; размеры собираемых деталей могут быть настолько малыми, что оператор, если и может осу-

ществить сборку, то очень медленно, а это экономически невыгодно; операции могут производиться в среде, являющейся опасной для здоровья оператора или даже для его жизни. Во всех этих случаях в производственный цикл вводятся машины автономного действия— роботы и манипуляторы.

В подавляющем большинстве машин, предназначенных для транспорта, передвижение по поверхности осуществляется с помощью колес. Но встречаются такие случаи, когда или по причине больших габаритов машины, или по причине отсутствия специально подготовленной дороги, или при передвижении по сильно пересеченной местности, или по какой-либо иной причине невозможности использовать колесный ход, переходят к шагающим машинам. Все эти машины ведут «свой род» от знаменитого шагающего механизма Чебышева.

И наконец, существует очень большая группа механизмов, которые могут заменять действие некоторых органов человека (протезы) или выполнять некоторые физиологические функции (искусственные внутренние органы человека). С последней группой механизмов «соседствует» большая группа машин, относящихся к медицинской технике.

К перечисленным группам машин и механизмов относятся не все возможные искусственные приспособления, но во всяком случае большая часть той механической техники, которая характерна для современного периода развития производства и общества, укладывается в пределы этих групп. При этом очень важным обстоятельством является то, что автоматы, машины автономного действия, медицинские и иные машины, относящиеся к разбираемым здесь группам, могут агрегироваться с теми вычислительными машинами, речь о которых была выше.

Анализируя развитие машин во второй половине XX в., И. И. Артоболевский пришел к выводу, что следует видоизменить и пополнить само определение машины, приведя его в соответствие с современным положением учения о машинах. Исходя из этого, он предложил следующую формулировку: машина есть устройство, создаваемое человеком для изучения и использования законов природы с целью облегчения фи-

зического и умственного труда, увеличения его производительности и облегчения путем частичной или полной замены человека в его трудовых и физиологических функциях. Иначе говоря, машина есть устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации.

Как уже говорилось, первые роботы появились в виде человекообразных фигур, или кукол, исполнявших одну или несколько функций, сперва не имевших отношения к производственной деятельности. Появление на сцене манипуляторов было более драматичным: первые эксперименты с радиоактивными веществами и поиски критических величин, достаточных для начала цепной реакции, приходилось выполнять вручную. Последствия этого известны, а изобретение манипуляторов было ответом на эту новую и очень срочную задачу, поставленную техникой. Вторым важным потребителем «механических рук» оказались глубоководные исследования. В дальнейшем было установлено, что в ряде технологических процессов автономно действующий механизм может с успехом заменить человека.

Параллельно шли исследования по созданию кибернетических машин, в которых идеи конструирования машин автоматического действия сочетались с идеями кибернетики. Первыми среди них были медицинские диагностические машины. Как оказалось, эти машины стало возможным приспособить и для решения задач технической диагностики: подобная методика обусловила и подобие при создании технических средств. Было установлено, что диагностический процесс является не статическим, а динамическим. Динамическая процедура диагноза, как писали авторы первых диагностических машин, начинается с простых исследований, затем на основании полученных данных проводится диагностическая оценка. Если оказывается, что данных недостаточно, то система указывает, какое следующее испытание из группы более точных следует произвести. Если на основании результатов, полученных от нового испытания, можно окончательно поставить диагноз, то испытание прекращается. В противном случае опять указывается испытание, вносящее дополнительную информацию. Таким образом, диагностический процесс включает в себя как оценку ме-

дицинской информации, так и управление собственно процессом диагноза.

Создание диагностических машин явилось лишь началом: в дальнейшем это направление развилось в чрезвычайно большую область специального машиностроения. При этом весьма характерно, что развитие и совершенствование таких машин идут параллельно с изучением самого человека. В этом направлении, как и во многих других, по-видимому, предела человеческого познания нет.

В 60-х годах происходило быстрое развитие машин автономного действия, параллельно которому развивалось учение о роботах и манипуляторах. Технические качества роботов росли очень быстро. Завершилось это десятилетие тем, что впервые в истории человечества на Луну был доставлен управляемый с Земли советский робот очень высокого класса — «Луноход-1».

Еще в конце 50-х годов начала меняться мера участия человека в управлении машиной. Человек-оператор постепенно передавал свои функции машине. Сперва это были функции движения, затем функции передач и переработки информации, наконец, функции принятия решения.

В 1954 г. в США был выдан первый патент на автомат, названный промышленным роботом с программным управлением движений искусственной руки. В 1962 г. в США были разработаны и построены образцы роботов «Юнимейт» и «Версатран». Через пять лет роботы этих типов были вывезены в Японию, где это новое производство было быстро освоено, и к настоящему времени постройкой роботов и манипуляторов различного назначения занимаются уже более ста японских фирм. Таким образом, среди капиталистических стран Япония заняла ведущее место по производству машин автономного действия.

При совершенствовании промышленных роботов выявляются две тенденции, связанные, с одной стороны, с ростом их экономичности и эффективности, а с другой — с увеличением их автономности и мобильности. Первые модели промышленных роботов создавались как завершенные и неделимые механические конструкции, имевшие определенное число степеней свободы и определенную систему управления. В ре-

зультате их кинематическая структура оказывалась чрезмерно сложной, то же происходило и с системой управления. Затем началась специализация машин автономного действия, в связи с чем быстро росла номенклатура различных конструктивных решений.

Для универсализации промышленных роботов и для упрощения возможности их использования в желательном конструктивном оформлении была сделана попытка разработки модульных конструкций роботов. В этом случае все его агрегаты, системы управления и математическое обеспечение — все эти элементы могли быть собраны в некоторое число различающихся между собой по форме и по назначению конструкций. Подобную универсальную и одновременно экономичную конструкцию разработали японские специалисты. Эта конструкция блочная и состоит из четырех агрегатов — телескопической «руки», «кисти» для захвата, вертикальной колонки и основания. Такие роботы агрегатного типа имели большую эксплуатационную гибкость, что давало возможность реализовать наиболее рациональную композицию для использования ее в условиях многономенклатурного производства.

Быстрое совершенствование машин автономного действия определило характерные особенности трех последовательных поколений этих машин. К первому поколению принадлежали роботы, которые были снабжены циклической системой управления, ко второму — роботы с рефлексным принципом управления, к третьему — роботы с адаптивной системой управления, основанной на принципах самоорганизации и самоусовершенствования.

Создание третьего поколения роботов выдвинуло необходимость введения в систему управления элементов искусственного интеллекта. Роботы с элементами машинного зрения были созданы в США, Англии, Японии. Соответствующие исследования проводятся и в нашей стране: роботы с искусственным зрением были созданы в Ленинграде и Киеве. Эти роботы могли находить некоторые объекты, а также собирать некоторые простейшие механизмы. Еще в 60-е годы была создана и начала работать советская космическая станция «Луна-9», оборудованная системой искусственного зрения: передаваемая с ее помощью информа-

ция дала возможность ближе познакомиться с поверхностью Луны.

Дальнейшие поиски в области робототехники позволили расширить функциональные возможности роботов. Американская информационная система выполнила комплекс исследований на Марсе в целях получения атмосферных, аэрофизических, аэрохимических и биологических данных. Были созданы также специализированные телеуправляемые подводные аппараты.

Непрерывное совершенствование роботов и расширение их функциональных возможностей вызвали необходимость дальнейшего совершенствования их классификации. К настоящему времени можно выделить по крайней мере четыре группы роботов:

собственно роботы — кибернетические автоматы;

управляющие роботы — автоматы, предназначенные для решения сложных численных и логических задач;

управляемые роботы — манипуляторы, предназначенные для выполнения механических операций на некотором расстоянии от оператора;

информационные роботы — автоматические системы, предназначенные для поиска, переработки и передачи информации о состоянии различных параметров исследуемых объектов.

Эту классификацию можно дополнить на основе принципов построения общей схемы машин и формы связи между блоками, выделив следующие группы:

манипуляционные роботы;

подвижные полуавтоматические манипуляционные роботы с дистанционным управлением и телеконтролем;

автоматические роботы с программирующими агрегатами или автоматическими подвижными системами;

автономные роботы.

Таким образом, машины автономного и автоматического действия непрерывно развиваются. Над их совершенствованием работает большое число ученых и инженеров во многих странах мира. В будущем роботы должны сыграть важную роль в деле замены труда человека во многих операциях, там, где это обеспечит улучшение качества продукции, убыстрение ее производства и, кроме того, освобождение человека от тяжелого и малопроизводительного труда.

Машины — наши современники во многом не похожи на своих предшественников — машины прошлого века, точно так же отличавшихся от машин предшествующих столетий. И опять-таки напрашивается сравнение с биологическими объектами, эволюционирующими на протяжении миллионов лет. По сравнению с таким временем эволюции «естественный отбор» машин, управляемый человеческой мыслью, происходит в значительно более сжатые сроки. Но он существует! Если проследить историю развития какого-либо направления машин, то мы бы обнаружили, какое большое количество предложений и моделей остается «за бортом»: они или не выдерживают конкуренции с другими моделями, лучшими по какому-либо параметру, или, что также часто встречается, изобретены слишком рано.

Развитие кибернетики стимулировало еще одну группу исследований. Известно, что разные животные обладают специфическими, лишь им свойственными органами управления перемещением в пространстве, передачи и приема внешней информации и т. д. Изучение этих живых объектов также обогащает «царство» машин: создание подобных устройств, несомненно, увеличивает возможности человека.

Будут ли в дальнейшем машины заменены другими творениями человеческого ума? Возможно, но если это и произойдет, то во всяком случае не скоро.

Трудно сказать что-либо более или менее определенное о машинах XXI и XXII вв. Писатели-фантасты написали о будущем очень много интересных книг, но чаще всего их интересовали не те столетия, которые увидят наши ближайшие потомки, а более отдаленные времена, отделенные от нас десятками столетий и тысячелетий. В этом есть своя логика: легче прогнозировать судьбу весьма отдаленных представителей человеческого рода, чем предсказать условия, в которых будут жить свои собственные дети и внуки.

На протяжении последних десятилетий эволюция машин ускорилась. Эти «органы» человека, ведущие свой род от простой палки и от сколотого камня, меняются и будут изменяться в будущем. Появились и продолжают появляться машины, совсем не похожие на своих предшественников, и когда мы видим фото-

графии автомашин или самолетов начала нашего столетия, то иногда они кажутся неправдоподобными или архаичными. А наши отцы и деды удивлялись их быстроте и красоте их внешнего вида. Мы же начинаем привыкать к переменам и часто ожидаем появления новых и новых машин, ибо на том, что нам известно, история машин не заканчивается.

В творчестве создателей машин, как и в других направлениях деятельности, возможности человеческого разума неисчерпаемы.

ЛИТЕРАТУРА

Ассур Л. В. Исследование плоских стержневых механизмов с точки зрения их структуры и классификации. — М.: Изд-во АН СССР, 1952.

Добровольский В. В., Артоболевский И. И. Структура и классификация механизмов. — М.: Изд-во АН СССР, 1939.

Артоболевский И. И., Боголюбов А. Н. Леонид Владимирович Ассур. — М.: Наука, 1971.

История механики с древнейших времен до конца XVIII в. — М.: Наука, 1972.

Боголюбов А. Н. Теория механизмов и машин в историческом развитии ее идей. — М.: Наука, 1976.

Кожевников С. Н. Основания структурного анализа механизмов. — Киев: Наукова думка, 1979.

Космодемьянский А. А. Очерки по истории механики. — М.: Наука, 1982.

Боголюбов А. Н. Математики, механики: Биографический справочник. — Киев: Наукова думка, 1983.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Агрикола *(Георг Бауэр, 1494—1555)* 29, 81
Антонов Олег Константинович *(1906—1985)* 55
Аркрайт Ричард *(1732—1792)* 32
Артоболевский Иван Иванович *(1905—1977)* 35, 111—125, 147, 156, 164
Архимед *(ок. 287—212 до н. э.)* 17, 73, 94, 95
Архит Тарентский *(ок. 428—365 до н. э.)* 8
Ассур Леонид Владимирович *(1878—1920)* 65, 106—125, 156

Байрон Джорж Гордон *(1788—1824)* 153
Батищев Яков 32
Батый *(1208—1255)* 25
Белл П. 39
Бенц Карл Фридрих *(1844—1929)* 44, 49
Берд Чарльз 38
Бернулли Даниил *(1700—1782)* 9, 97
Бессон Жак 28, 95
Бетанкур Августин Августинович *(1758—1824)* 35, 38, 75, 90
Бласко де Гарай *(XVII в.)* 100
Блерио Луи *(1872—1936)* 46
Борелли Джованни *(1608—1679)* 9, 129
Бургаве Герман *(1668—1738)* 131
Беббидж Чарльз *(1792—1871)* 153, 157
Бэкон Роджер *(1214—1292)* 26

Виллар де Оннекур*(XIII в.)* 22, 69
Виллис Роберт *(1800—1875)* 35, 75
Винер Норберт *(1894—1964)* 53
Витрувий *(I в. до н. э)* 18, 129
Виттенбауэр Фердинанд *(1857—1922)* 144 146
Вокансон Жак де *(1709—1782)* 10, 32, 131
Вольта Алессандро *(1745—1821)* 136
Вышнеградский Иван Алексеевич *(1832—1895)* 148

Гаккель Яков Модестович *(1874—1945)* 48
Галилей Галилео *(1564—1642)* 142
Гарвей Уильям *(1578—1657)* 9, 129
Гениво А. 143
Герберт Ориякский (папа Сильвестр II, *930—1003)* 23
Герон Александрийский *(ок. I в.)* 16, 17, 19, 21, 24, 83, 84
Гертснер Франтишек *(1756—1832)* 37
Глинков Родион 32
Глушков Виктор Михайлович *(1923—1982)* 160
Гомер 8
Горячкин Василий Прохорович *(1868—1935)* 47, 156
Гофман Фридрих *(1660—1742)* 130
Грамм Зеноб Теофиль *(1826—1901)* 137
Гук Роберт *(1635—1703)* 97, 130, 142
Гюйгенс Христиан *(1629—1695)* 73, 142

Даймлер Готлиб *(1834—1900)* 44, 45
Дезарг Жирар *(1593—1662)* 73
Декарт Рене *(1596—1650)* 9, 11, 97, 130
Дизель Рудольф *(1853—1913)* 136
Дир Джон 39
Добровольский Владимир Владимирович *(1880—1956)* 156
Доливо-Добровольский Михаил Осипович *(1861/62—1919)* 137
Дроз Анри-Луи *(1752—1791)* 132
Дроз Пьер-Жак *(1721—1790)* 132
Дюпен Пьер Шарль Франсуа *(1784—1873)* 100
Дюрер Альбрехт *(1471—1528)* 105

Жаккар Жозеф Мари *(1652—1834)* 33, 102
Жуковский Николай Егорович (1847—1921) 46, 50, 106, 113, 147, 156

Кардано Джероламо *(1501—1576)* 29, 81
Калинин Константин Александрович *(1889—1940)* 50
Карно Лазар Никола *(1752—1823)* 128, 135
Карно Никола Леонар Сади *(1796—1832)* 135, 136
Картрайт Эдмунд *(1743—1823)* 32
Кирпичев Виктор Львович *(1845—1913)* 154
Кожевников Сергей Николаевич *(р. 1906)* 123
Колумб Христофор *(1451—1506)* 27
Кориолис Гюстав Гаспар *(1792—1843)* 144
Кромптон Сэмюэл *(1753—1827)* 32, 89
Ктесибий *(ок. I в. до н. э.)* 16, 96
Кувре 41
Куприн Александр Иванович *(1870—1938)* 154

Лавлейтс Августа Ада *(1815—1852)* 153
Лагир Филипп де *(1640—1718)* 73
Ламетри Жюльен Офре де *(1709—1751)* 9, 130, 132
Ланц Хосе-Мария *(1764—1839)* 35, 75
Лебедев Сергей Алексеевич *(1902—1974)* 158
Лейбниц Готфрид *(1646—1716)* 100
Лейпольд Якоб *(1674—1727)* 35
Ленуар Этьенн *(1822—1900)* 136
Леонардо да Винчи *(1452—1519)* 10, 27, 28, 73, 82, 84, 85, 97, 144
Ломоносов Михаил Васильевич *(1711—1765)* 135
Лопаткин А. 41
Луллий Раймунд *(ок. 1235— ок. 1315)* 23

Майкл 39
Максвелл Джеймс Клерк *(1831—1879)* 137, 148
Максим Хайрем *(1840—1916)* 45
Маркс Карл *(1818—1883)* 36, 41, 42, 99
Мельников Павел Петрович *(1804—1880)* 41
Менцель Адольф фон *(1815—1905)* 93
Мерцалов Николай Иванович *(1866—1948)* 147, 156
Мехварт А. 94

Мещерский Иван Всеволодович *(1859—1935)* 141
Модсли Генри *(1835—1918)* 28
Можайский Александр Федорович *(1825—1890)* 45
Монж Гаспар *(1746—1818)* 35, 100, 105

Навье Луи Мари Анри *(1785—1836)* 144
Нартов Андрей *(1693—1756)* 28
Несмит Джеймс *(1808—1890)* 40
Новиков Михаил Леонтьевич *(1915—1956)* 77
Ньюкомен Томас *(1663—1729)* 33, 100
Ньютон Исаак *(1643—1727)* 131

Овидий *(ок. 43 до н. э.—ок. 18 н. э.)* 8
Огль Г. 39
Оливье Теодор *(1793—1853)* 75
Остроградский Михаил Васильевич *(1801—1862)* 148
Отто Николаус Август *(1832—1891)* 136

Папен Дени *(1647— ок. 1714)* 100, 152
Перье Ж.-К. 34
Петров Николай Павлович *(1836—1920)* 140
Пикаард Джеймс 145
Платон *(ок. 427— ок. 348 до н. э.)* 8
Ползунов Иван Иванович *(1728—1766)* 33, 100
Понселе Жан Виктор *(1788—1867)* 133

Райт Уилбер *(1867—1912)* и Орвилл *(1871—1948)* 45
Рамелли Агостино *(1530—1590)* 28, 82
Раннекен 31
Рело Франц *(1829—1905)* 106
Робида Альберт *(1848—1926)* 153
Робинсон Уильям Нит *(1872—1946)* 62, 91, 153

Сегнер Янош Андрош *(1704—1777)* 134
Смит Уильям *(1769—1839)?* 38
Смитон Джон *(1724—1792)* 30, 98
Стефенсон Джордж *(1781—1848)* 36, 37, 109
Стодола Аурель *(1859—1942)* 149
Тернер 39

Торрес Кеведо Леонардо де *(1852—1936)* 157
Туполев Андрей Николаевич *(1888—1972)* 50, 55
Турриано Хуанелло *(1500—1585)* 104

Уайетт Джон 31
Уатт Джеймс *(1736—1819)* 33, 89, 100, 104, 145
Уоэброу Мэтью 145

Фейрберн Уильям *(1780—1874)* 134
Филипп, митрополит (Федор Степанович Колычев, *1507—1569)* 29, 101, 102
Форд Генри *(1863—1947)* 45
Фролов Козьма Дмитриевич *(1726—1800)* 31, 102
Фултон Роберт *(1765—1815)* 37, 38
Фурнейрон Бенуа *(1802—1867)* 98, 134
Фурье Жан Батист Жозеф *(1768—1830)* 135
Фэйрберн Уильям *(1789—1874)* 134

Харгривс Джеймс *(? —1778)* 32
Хубилай *(1215—1294)* 25

Цеппелин Фердинанд *(1838—1917)* 47

Чебышев Пафнутий Львович *(1821—1894)* 70, 76, 104, 121, 156, 164

Шварц Бертольд *(XIV в.)* 26
Швецов Аркадий Дмитриевич *(1892—1953)* 50
Шотт Каспар *(1606—1666)* 30
Шуман Э. П. 39

Эванс Оливер *(1755—1819)* 34, 39, 102
Эйлер Леонард *(1707—1783)* 9, 35, 74, 93, 97, 134
Энгельс Фридрих *(1820—1895)* 7, 42
Эри Джордж Биделл *(1801—1892)* 148

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ
5

ЭВОЛЮЦИЯ МАШИН
Краткая история
12

СТРОЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ,
или «анатомия» машин
62

ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ
СТРУКТУРЫ,
или «генетика» машин
103

ПРИНЦИПЫ ДВИЖЕНИЯ,
или «физиология» машин
126

МАШИНЫ.
Настоящее и будущее
(вместо заключения)
151

ЛИТЕРАТУРА
170

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ
171

Алексей Николаевич БОГОЛЮБОВ

ТВОРЕНИЯ РУК ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ

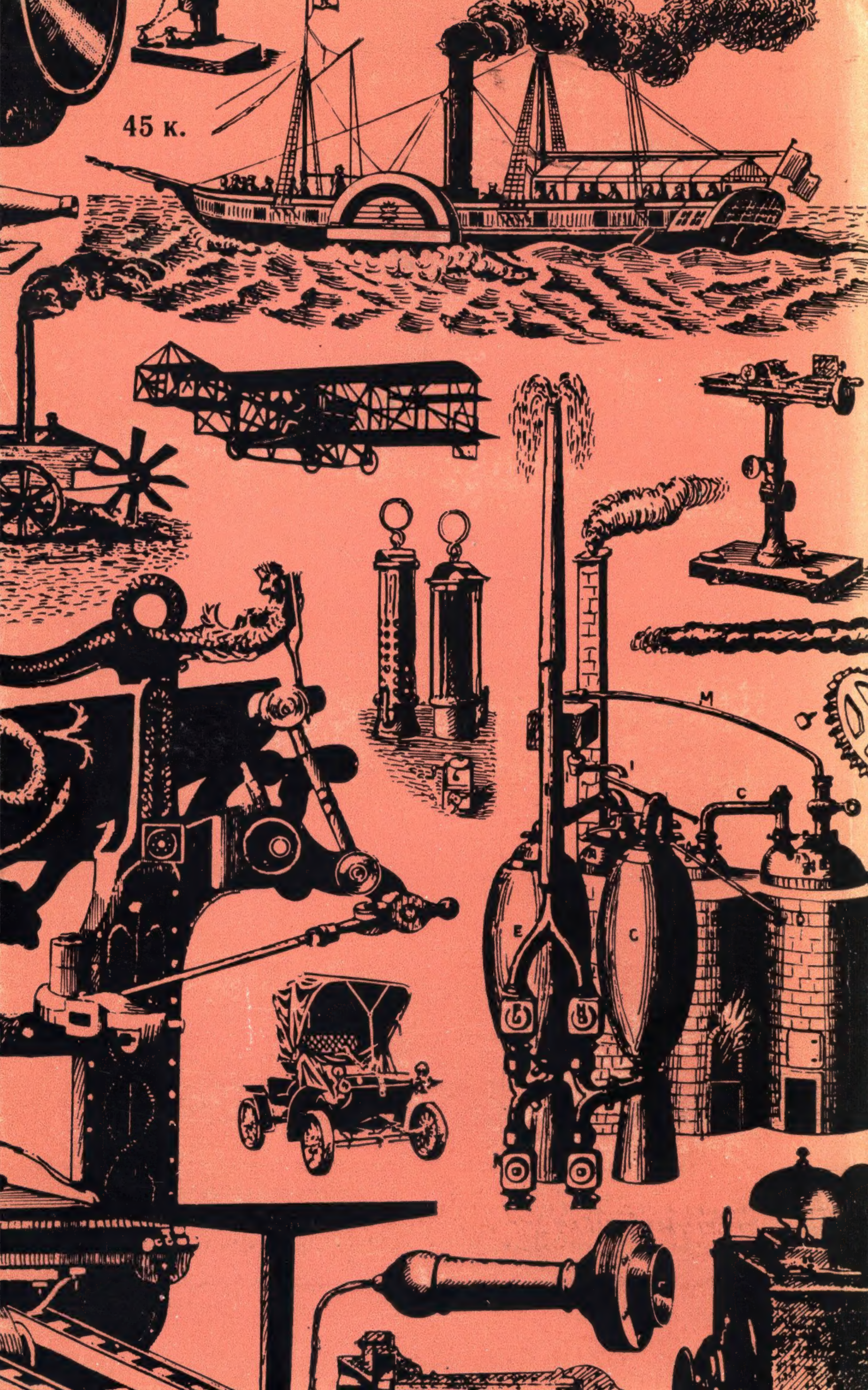
Естественная история машин

Гл. отраслевой редактор *Л. А. Ерлыкин*
Редактор *Е. Р. Воронцова*
Мл. редактор *И. И. Антонова*
Худож. редактор *Т. С. Егорова*
Художник *В. Н. Конюхов*
Техн. редактор *О. А. Найденова*
Корректор *В. В. Каночкина*

ИБ № 9411

Сдано в набор 29.09.87. Подписано к печати 22.03.88. А 02698. Формат бумаги 84×108 1/32. Бумага типограф. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 9,24. Усл. кр.-отт. 9,56. Уч.-изд. л. 9,27. Тираж 150 000 экз. Заказ 7—555. Цена 45 к. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 887713. Киевская книжная фабрика, 252054, Киев, ул. Воровского, 24.




45 к.